DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zwölfter Jahrgang | 5. September 1924 | Heft 36

Die neuen Dinosaurierfunde in der Oberkreide Canadas.

Von Othenio Abel, Wien.

Für einen Paläozoologen, der sich die Erforschung der fossilen Wirbeltiere, insbesondere der Reptilien und Säugetiere, zur Aufgabe gemacht hat, bedeutet Nordamerika mit seinen überreichen Schätzen an Überresten dieser vorzeitlichen Tiere ein geradezu ideales Arbeitsfeld. Freilich liegen hier die Verhältnisse, die eine Entdeckung neuer Fundstellen und die Ausgrabung fossiler Reste ermöglichen, ungewöhnlich günstig. Weite Strekken des Kontinentes bestehen aus Ödland mit überaus geringer Vegetation, wodurch das Aufsuchen der Fossilfunde in diesen weiten „Bad-Lands" ungemein erleichtert wird, während ja sonst in Gebieten mit reichem Pflanzenwuchs das Erschließen fossilreicher Gesteinsschichten stets nur einem glücklichen Zufalle zu danken ist. So kann der „Fossil-Hunter", der in diesem weiten, öden Gebieten auf Jagd auszieht, mit einem sehr hohen Grade von Wahrscheinlichkeit auf eine gute Beute rechnen.

Da im Vergleiche zu der riesigen Ausdehnung der Bad-Lands in den Vereinigten Staaten, derartige Gebiete in Canada nur einen verhältnismäßigen kleinen Teil gegenüber den fruchtbaren Landstrichen einnehmen (nur 20 000 Quadratmeilen in Canada haben eine jährliche Niederschlagsmenge, die unter dem Betrage von 25 cm zurückbleibt, während 2 Millionen Quadratmeilen von Waldland eingenommen werden), so sind die Aussichten auf Fossilienfunde in Canada relativ geringer als in den Vereinigten Staaten. Dennoch ist durch die Bemühungen der canadischen Paläontologen und durch Expeditionen, die vom American Museum of Natural History nach den Bad-Lands von Alberta gesandt wurden, namentlich im Bereiche des Red Deer River in den letzten Jahren eine größere Zahl von Funden geglückt, die geeignet sind, unsere Kenntnisse von den sonderbaren Dinosaurierformen der oberen Kreideformation in sehr erfreulicher Weise zu erweitern.

Bis jetzt liegen uns aus der oberen Kreide von Alberta die Vertreter von 5 ausnahmslos sehr hoch spezialisierten Dinosaurierstämmen vor. Dies sind 1. die Angehörigen des Stammes der riesigen, zweifüßigen Raubdinosaurier, die sich um die jetzt sehr genau bekannt gewordene Gattung Gorgosaurus gruppieren, 2. der sonderbare, zweifüßige Struthiomimus, so genannt wegen gewisser Ähnlichkeiten mit großen straußartigen Vögeln, ohne daß jedoch aus diesen Ähnlichkeiten auf eine engere Verwandtschaft geschlossen werden darf, wie dies unlängst wieder einmal geschehen ist; 3. große, stark gepanzerte, vierfüßige Dinosaurier, die sich um die Gattungen Ankylosaurus und Palaeoscincus gruppieren; 4. riesige, zumeist mit mächtigen Schädelhörnern und gewaltigen Nackenschutzschilden ausgestattete, gleichfalls vierfüßige Dinosaurier, die sich um die heute auch schon in weiteren Kreisen bekannte Gattung Triceratops zu der Gruppe der Ceratopsiden zusammenschließen; endlich 5. der Stamm der mit den europäischen Iguanodonten verwandten, wie diese zweifüßigen oder bipeden Trachodontiden, die, wie wir heute wissen, im Wasser lebten, wo sie vor den Angriffen der gewaltigen, bipeden Raubdinosaurier des festen Landes geschützt waren.

Die neuen Funde von Vertretern dieser 5 Dinosaurierstämme in der Oberkreide am Red Deer River in Alberta sind so wichtig und gleichzeitig durch so weitgehende, ja fast bizarre Spezialisationen gekennzeichnet, daß es geboten erscheint, auch einem größeren Kreise die Bekanntschaft mit diesen neuentdeckten Reptilien zu vermitteln.

Die erste dieser merkwürdigen Formen ist Gorgosaurus libratus, der von dem leider so früh verstorbenen, hochverdienten canadischen Paläontologen Lawrence M. Lambe zuerst 1914 und zuletzt 1917 beschrieben wurde. Die Grundlage seiner Untersuchungen bildete ein geradezu prachtvoll erhaltenes Skelett, das 1913 von dem Veteranen der nordamerikanischen Fossil-Hunter Charles H. Sternberg ausgegraben wurde (Fig. 1); ein zweites Skelett wurde im gleichen Jahre von der Expedition des American Museum in New York unter der Leitung von Barnum Brown ausgehoben und befindet sich in New York. Beide Funde ergänzen sich so glücklich, daß nunmehr fast alle Skelettelemente dieses riesenhaften Tieres bekannt sind, das eine Gesamtlänge von ungefähr 10 m erreichte. Wie bei den übrigen großen Raubdinosauriern der Kreideformation waren die Arme zu kleinen, wahrscheinlich bereits gebrauchslosen Stummeln verkümmert, der Schädel sehr groß und mit einem furchtbaren Gebisse bewehrt, die Hinterbeine sehr kräftig und der Schwanz lang (Fig. 2).

Bei dem einen dieser beiden Skelette war, wie dies auch viele andere fossile Reptilien und Säugetiere zeigen, der Hals mit dem Schädel ganz gegen den Rücken zurückgebogen. Vor kurzem hat Roy L. Moodie in mehreren Mitteilungen auf diese Erscheinung aufmerksam gemacht und sie dem „Opisthotonos", d. i. der im Gefolge des Starrkrampfes auftretenden Rückbiegung des Halses

Fig. 1. Fundstelle des 10 m langen Skelettes von Gorgosaurus in den Bad Lands am Red Deer River, Alberta, Canada. Das Skelett wurde in 5 Teilen geborgen, die die Knochen in der Matrix (toniger Sandstein der Oberkreide, „Belly River Series") enthielten und mit Gipsbinden umschnürt wurden, um leichter und sicherer transportiert werden zu können. Der schwerste dieser 5 Teile wog über 1 t. Das Skelett kam in das Museum der Geological Society in Ottawa, Canada. (Nach L. M. LAMBE.)

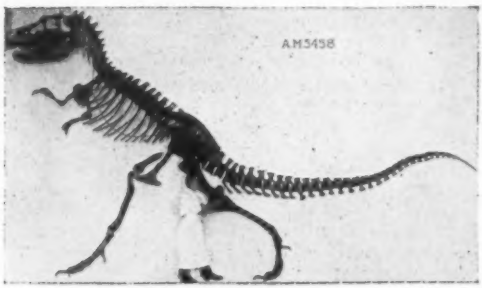


Fig. 2. Rekonstruktion des Gorgosaurus libratus Lambe aufgestellt im American Museum of Natural History in New York. (Nach W. D. MATTHEW.)

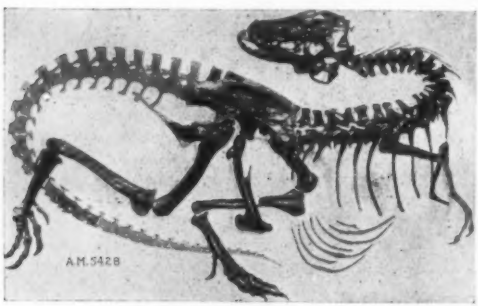


Fig. 3. Skelett von Gorgosaurus libratus Lambe, in der Stellung, in der es gefunden wurde, konserviert. (Nach W. D. MATTHEW.)

zugeschrieben, so daß nach dieser Auffassung im vorliegenden Falle (Fig. 3) wie in allen analogen der Tod infolge von Starrkrampf eingetreten sein soll. Dagegen hat sich W. D. MATTHEW (American Museum Novitates, 11. October 1923, pag. 3) gewendet und darauf aufmerksam gemacht, daß diese Rückwärtskrümmung des Halses als die Folge der Einschrumpfung der dorsalen Halsmuskulatur *nach* dem Tode des Tieres anzusehen ist, eine Ansicht, der ich mich durchaus anschließe. Allerdings scheint mir die Rückwärtskrümmung dadurch begünstigt worden zu sein, daß der Hals auch bei Lebzeiten des Tieres nicht schräge nach vorne gerichtet, sondern schwach nach rückwärts gekrümmt gehalten wurde, was ganz besonders auch für die gleichfalls eine starke Halsbiegung aufweisenden Leichen der großen Trachodontiden gilt, von denen später die Rede sein wird.

Die Rekonstruktion (Fig. 2) zeigt das Tier nach der in der Aufstellung des American Museum of Natural History in New York zum Ausdrucke gebrachten Auffassung in schneller Schreitbewegung; viel schwieriger ist es dagegen, die Rekonstruktion des Tieres in der Ruhestellung durchzuführen, was überhaupt für die Mehrzahl der bipeden Dinosaurier gilt. In dieser Richtung sind unsere Vorstellungen noch mancher Korrektur bedürftig, doch würde es an dieser Stelle zu weit führen, die Gründe hierfür ausführlich darzulegen.

Die amerikanische Expedition unter BARNUM BROWN hat in der Oberkreide von Alberta eine Anzahl von Individuen eines bisher nur mangelhaft gewesenen Dinosauriers, darunter ein nahezu vollständiges Skelett von Struthiomimus altus ausgegraben, das uns heute ein der Wirklichkeit schon sehr nahe kommendes Lebensbild dieses Dinosauriers zu entwerfen ermöglicht. Auch dieser Typus gehört dem Stamme der bipeden Raubdinosaurier an, unterscheidet sich aber von Gorgosaurus, Tyrannosaurus und den übrigen bekannteren Vertretern dieses Stammes vor allem dadurch, daß der Schädel sehr klein geworden ist und daß die Kiefer nicht mehr mit einem furchtbaren Fanggebiß bewehrt, sondern zahnlos geworden sind, so daß dadurch ein hoher Grad von Vogelähnlichkeit erreicht wird. Noch stärker kommt diese Vogelähnlichkeit in den Verhältnissen der Hintergliedmaßen zum Ausdrucke, ohne daß wir jedoch daraus den Schluß auf eine Verwandtschaft des Struthiomimus mit den Straußen oder anderen Laufvögeln ziehen dürfen; eine solche Vorstellung, die allerdings bald nach dem Erscheinen der Mitteilung HENRY FAIRFIELD OSBORNS (13. Januar 1917) von G. STEINMANN (Bonn) geäußert wurde (Anatomischer Anzeiger, 55. Bd., 1922. S. 239) ist jedoch zu dilettantenhaft, als daß sie eine ernste wissenschaftliche Widerlegung nötig hätte. Struthiomimus ist nach allen morphologischen Merkmalen ein typischer Dinosaurier und hat nicht das mindeste Anrecht darauf, als ein Ahne der großen Laufvögel angesehen werden

zu dürfen. Alle Ähnlichkeiten zwischen den Anpassungsmerkmalen von Struthiomimus und Struthio, dem afrikanischen Strauße, sind ausschließlich Konvergenzerscheinungen, bedingt durch eine gleichsinnige Bewegungsart (Fig. 4). Dennoch bestehen Verwandtschaftsbeziehungen zwischen den Dinosauriern aus dem Stamme der Saurischier einerseits und den Vögeln andererseits, wie ich selbst wiederholt darzulegen versucht habe, zuerst 1910 (Vers. d. Sekt. f. Paläont., Zool. Bot. Ges. Wien, 16. November 1910; Verh. Zool. Bot. Ges. 61. Bd., 1911. pag. 144—191). Die Spaltung zwischen den Vögeln und Dinosauriern liegt jedoch sehr weit in der Erdgeschichte zurück und fällt wahrscheinlich in den Anfang der Triasformation. Beide sind aus gemeinsamen Ahnen entstanden, aber von einer Ahnenrolle des Struthiomimus kann unter keinen Umständen eine Rede sein.

Zu den merkwürdigsten Anpassungserscheinungen von Struthiomimus, die eine lebhafte Dis-

Fig. 4. Skelett von Struthiomimus altus Lambe aus der Belly River Series (obere Kreideformation) von Alberta, Canada. Das Tier wurde in der Stellung, in der es gefunden wurde, rekonstruiert. Original im American Museum of Nat. Hist. zu New York. (Nach H. F. OSBORN.)

kussion ausgelöst haben, gehört der Bau der Hand, in der nur mehr drei Finger funktionell sind; der vierte und fünfte sind verlorengegangen, ebenso wie dies schon bei den Vogelahnen der Fall gewesen sein muß. Bei Struthiomimus war der Daumen den beiden noch erhaltenen Fingern, dem zweiten und dritten, opponiert, was darauf hinweist, daß die Hand die Funktion einer Zange gehabt haben muß. Was das Tier jedoch mit diesen Handzangen ergriffen oder sonst getan haben mag, war bisher ziemlich umstritten, von einer Kletterfunktion kann kaum eine Rede sein, da die Körpergröße des Tieres (Gesamtlänge der Wirbelsäule über 4 m) gegen die Annahme einer solchen Lebensweise spricht. Unter den verschiedenen Vermutungen über die Funktion der Hände von Struthiomimus scheint nach einer mir zugegangenen brieflichen Mitteilung meines verehrten Freundes W. D. MATTHEW die Vermutung von FRANZ BARON NOPCSA (Annals and Magazins of Natural History, London (9), Vol. X., July 1922, pag. 152) die größte Wahrscheinlichkeit zu besitzen; Struthiomimus erscheint darnach als ein *Eierfresser*, der mit seinen Handkrallen Eier aus dem Boden ausgrub und zerbrach. Dafür sprechen die in der letzten Zeit in der Mongolei gemachten Funde von Dinosauriereiern in Nestern, die zum Teile zerbrochen sind und in deren unmittelbarer Nähe sich Reste dieser Dinosaurier gefunden haben, die zusammen mit den Eiergelegen pflanzenfressender Dinosaurier aus der Familie der Ceratopsiden und zusammen mit vielen Skelettresten derselben entdeckt wurden und meiner Vermutung nach *durch einen Staub- oder Sandsturm gemeinsam begraben* worden sind.

Ein dritter, nicht minder merkwürdiger und bisher nur aus sehr dürftigen Resten bekannt gewesener Typus aus dem Kreise der *sekundär zur tetrapoden Lebensweise* übergegangenen Dinosaurier aus dem Stamme der Ornithischier, der in der oberen Kreide von Alberta in Canada entdeckt wurde, ist der „Super-Dreadnaught of the Animal World" wie ihn W. D. MATTHEW genannt hat (Natural History, New York, Vol. XXII, 1922, pag. 333). Das ist der riesige „Palaeoscincus", ein Name, der allerdings die falsche Vorstellung auslösen könnte, als würde dieses fossile Reptil in einer nahen Verwandschaftsbeziehung zu dem lebenden Wüstenskink (Scincus officinalis) stehen, was durchaus nicht der Fall ist, da Palaeoscincus ein echter Dinosaurier aus der Verwandtschaft des schon seit längerer Zeit bekannten Ankylosaurus ist; der Name wurde aber von JOSEPH LEIDY schon 1856 für einen einzelnen Zahn aufgestellt, zu einer Zeit also, da von diesem Reptil kaum etwas Näheres auszusagen war. Nun hat sich herausgestellt, daß der neu entdeckte Dinosauriertypus mit Palaeoscincuszähnen versehen war und der vor 68 Jahren gegebene Name muß daher trotz der irreführenden Bezeichnung nach den uns bindenden Nomenklaturregeln aufrecht erhalten bleiben.

In der Regel sind bei der Aufdeckung des Skelettes eines gepanzerten Dinosauriers die Panzerplatten aus ihrem Zusammenhange gelöst und liegen in Unordnung neben und zwischen den übrigen Skelettkomponenten. Im vorliegenden Falle war jedoch das Tier in mumifiziertem Zustande in das Gestein eingebettet worden und die Panzerplatten blieben daher auf der eingeschrumpften Haut in ihrer ursprünglichen Lage erhalten. Freilich gingen im Laufe der geologischen Zeiträume die Haut selbst sowie die die Knochenplatten des Panzers bedeckenden Hornüberzüge verloren, aber die Eindrücke der Haut blieben im Gestein erhalten und konnten durch sehr zeitraubende und außerordentlich mühsame Präparation freigelegt werden. So stellt das leider nur den vorderen Teil des Körpers umschließende Fundstück den ersten Fund eines mit den Panzerplatten *in situ* erhaltenen Dinosauriers dar (Fig. 5).

Das Lebensbild des Tieres muß, nach den Panzerplatten zu schließen, die an den Körperflanken in gewaltige Knochenstacheln übergehen, in mancher Hinsicht dem der lebenden Kröten-

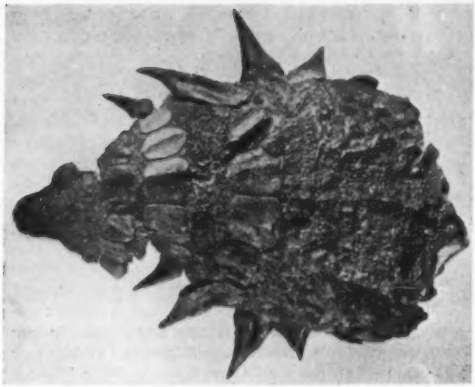


Fig. 5. Oberansicht des Vorderteiles des Körpers von Palaeoscincus, stark verkleinert. Im American Museum of Natural History, New York. (Nach W. D. MATTHEW.)

echse (Phrynosoma cornutum) oder dem des lebenden australischen Moloch (Moloch horridus) sehr ähnlich gewesen sein, wie ich dies auch für Polacanthus Foxi aus dem Wealden Englands wahrscheinlichzumachen versucht habe (Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit, Jena, 1922, pag. 378). Sicher werden wir annehmen dürfen, daß der dergestalt gepanzerte, gewiß sehr schwerfällige und daher zu schneller Flucht unfähige pflanzenfressende Palaeoscincus gegen die Angriffe der Raubdinosaurier einen sehr wirksamen Schutz besaß und ich möchte vermuten, daß die Knochenplatten und Knochenstacheln dieses sonderbaren Reptils aus der Oberkreide von Alberta noch *viel zahlreichere und längere Hornstacheln* trugen, als dies in der von E. M. FULDA entworfenen Rekonstruktion des Lebensbildes von Palaeoscincus zum Ausdrucke gebracht erscheint (Fig. 6).

Fig. 6. Rekonstruktion von Palaeoscincus aus der Oberkreide von Alberta, Canada, ausgeführt von E. M. FULDA, 1921. (Nach W. D. MATTHEW.)

Auch unter den den Hauptstamm der Ceratopsiden bildenden Gattungen, die in den letzten Jahren in Alberta gefunden wurden, liegen einige neue und zum Teil gleichfalls sehr merkwürdig gestaltete Typen vor. Unter diesen ist besonders die durch einen ungewöhnlich massiven, hohen, plumpen und nur einen kleinen Nackenschild tragenden Schädel gekennzeichnete Gattung Eoceratops zu nennen, der sich die Gattung Chasmosaurus anreiht, die im Gegensatze zu Eoceratops durch einen enorm nach hinten ausgedehnten Nackenschild mit großen Fontanellen beiderseits gekennzeichnet ist (Fig. 7). Der merkwürdigste unter allen bisher bekannt gewordenen Ceratopsiden aus der oberen Kreide von Alberta ist jedoch der sonderbare Centrosaurus apertus, dessen Schädel von CHARLES H. STERNBERG 1914 für das Museum des Geological Survey in Ottawa (Canada) geborgen wurde (Fig. 8). Die nach vorne umgebogenen Hörner am Oberrande des Nackenschildes und das gleichfalls nach vorne umgebogene Nasenhorn geben dem Schädel ein für einen Ceratopsiden (z. B. Triceratops) ganz ungewöhnliches Aussehen, das nur etwas an das Schädelbild von Monoclonius erinnert, von dem 1916 in dieser Zeitschrift eine

Fig. 7. Schädel von Chasmosaurus Belli Lambe, Ansicht von links. Länge ungefähr 160 cm. Gefunden 1914. (Nach L. M. LAMBE.)

Reproduktion mitgeteilt wurde (4. Jahrgang, 18. August 1916, pag. 497). Die Photographie des im Amer. Mus. Nat. Hist New York aufgestellten und unter der Leitung von BARNUM BROWN montierten Skelettes von Monoclonius nasicornus aus der Oberkreide von Alberta (Fig. 9) gibt eine gute Vorstellung von den allgemeinen Körperproportionen dieses Dinosauriers.

Der in wissenschaftlicher Hinsicht weitaus wertvollste Fund dürfte jedoch der 1922 von W. A. PARKS beschriebene Rest von Parasaurolophus Walkeri sein, der von der Schwanzwurzel angefangen den ganzen Rumpf und den Hals mit dem Schädel, die beiden Arme, von den Hinterbeinen aber nur die Oberschenkelknochen umfaßt.

Waren schon die übrigen, schon in früheren Jahren gemachten und von L. M. LAMBE u. a. veröffentlichten Funde von Dinosauriern aus der Verwandtschaft des jetzt in ziemlich weiten Kreisen bekannten Trachodon (vgl. diese Zeitschrift, 4. Jahrgang, Heft 33, pag. 496 und 497) geeignet, allgemeines Aufsehen hervorzurufen, so ist durch den Fund von Parasaurolophus nicht nur vielleicht

die sonderbarste Type aus dieser Gruppe bekannt geworden, sondern wir sind nun auch endlich in der Lage, die Bedeutung des Schädelkammes von Corythosaurus, Saurolophus usw. zu verstehen und in die physiologische Funktion dieser Schädelprotuberanzen einen Einblick zu gewinnen.

Der Schädel von Parasaurolophus trägt nämlich einen nach hinten und oben sich zu bedeutender Länge erstreckenden Fortsatz, der sich im Querschnitte als aus vier langen Knochenröhren mit relativ dünnen Wänden aufgebaut erweist. Zwei dieser Röhren bilden das obere, zwei das untere

Fig. 8. Schädel von Centrosaurus apertus Lambe, Ansicht von rechts. Länge ungefähr 160 cm. Gefunden 1914. (Nach L. M. LAMBE.)

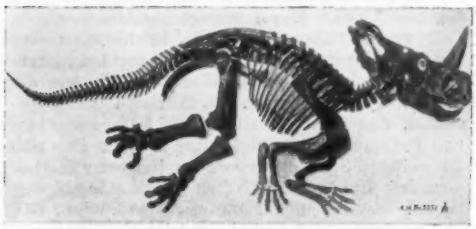


Fig. 9. Skelett von Monoclonius nasicornus Brown, aus der Oberkreide von Alberta, Canada. Schädellänge 142 cm. Original im American Museum of Nat. Hist., New York. (Nach B. BROWN.)

Röhrenpaar, am Hinterende sind alle vier Röhren verschlossen.

Das obere Röhrenpaar führt in die Nasenhöhle und bildet eine direkte Fortsetzung des Nasenraumes; es endet vorne in einen beiderseitigen, sehr großen und nach hinten oben spitz zulaufenden Nasenschlitz, die äußere bzw. vordere Nasenöffnung.

Nach meinen Untersuchungen muß dieses obere Röhrenpaar bis zu seinem Hinterende mit einer Fortsetzung der Nasenschleimhaut ausgekleidet gewesen sein und die oberen Röhren stellen somit eine Erweiterung des Nasenraumes dar. Nicht so sicher ist dies bezüglich des unteren Röhrenpaares; ich habe an Prof. PARKS die Bitte gerichtet, eine Untersuchung dieser unteren Röhren in ihrer Beziehung zur Nasenhöhle vorzunehmen, doch ist diese Untersuchung, wie mir Kollege PARKS vor kurzem mitteilt, wegen der bereits vollzogenen Montierung des Restes in einem Glasschrank momentan unmöglich. Trotz dieser Lücke in den Beobachtungen können wir uns jedoch bereits ein Bild von der physiologischen Bedeutung dieses Röhrenkomplexes machen.

War, wie sicher angenommen werden darf, zum mindesten das obere Röhrenpaar auf der Innenseite mit einer Fortsetzung der Nasenschleimhaut ausgekleidet, so muß bei diesem Dinosaurier das Riechvermögen wegen der auf der Nasenschleimhaut sich verzweigenden Geruchsnerven hochgradig ausgebildet gewesen sein. Dies führt zu der Frage nach der Bedeutung einer derartigen Steigerung des Geruchsvermögens.

Wir wissen, daß bei den männlichen Gavialen eigentümliche blasenförmige Auftreibungen auf der Gaumenseite der Schädel ausgebildet sind, die von Erweiterungen der Pterygoidea gebildet werden und von Schleimhaut ausgekleidet sind. Sie stehen wahrscheinlich mit den äußerlich sichtbaren wulstigen Knochenringen in Verbindung, die um das Vorderende der Nasenöffnungen gelagert sind. Ähnliche Knochenblasen finden sich auch an den Schädeln männlicher Krokodile (bei Crocodilus niloticus und C. porosus), nur sind sie hier nicht nur von den Pterygoidea, sondern auch von den Palatina aufgebaut. Ferner sind sie auch bei Tomistoma Schlegelii nachgewiesen worden (O. ABEL, Paläont. Zeitschr., V. Bd., 1923, pag. 46).

Diese Erweiterungen der Nasenhöhlenräume stehen in Verbindung mit einer sehr wesentlichen Steigerung des Geruchsvermögens der genannten Krokodile während der Paarungszeit, da sie das Auffinden der Weibchen erleichtern.

Da Parasaurolophus wie auch die übrigen Trachodontiden den größten Teil ihres Lebens im Wasser zugebracht haben müssen, wie aus den übrigen Anpassungen des Skelettes, namentlich der zu Flossen umgewandelten Hände, klar hervorgeht, so haben sie sehr wahrscheinlich unter ähnlichen Bedingungen wie Krokodile gelebt und eine Steigerung des Geruchsvermögens muß für diese Dinosaurier in der Paarungszeit von besonderem Vorteil gewesen sein.

Vergleichen wir den Schädel des gleichfalls aus der oberen Kreideformation von Alberta zuerst von L. M. LAMBE und später von W. A. PARKS beschriebenen Lambeosaurus Lambei Parks mit dem von Parasaurolophus, so sehen wir an Stelle der langen, gleichmäßig geschwungenen Knochenröhren von Parasaurolophus in der Mitte des Schädeldaches von Lambeosaurus einen hohen, scharfkantigen Knochenkamm aufsteigen, der sich nach hinten in eine kurze, nach oben gerichtete Röhre fortsetzt. LAMBE hat festgestellt, daß die Oberseite dieses Kammes und der Röhre von den Zwischenkiefern oder Praemaxillarien (Fig. 11, *Pmx*) gebildet wird, die untere Hälfte der Röhre (R)

aber von den Nasenbeinen, eine außerordentlich merkwürdige und ohne Kenntnis der Vorfahrenstadien von Lambeosaurus vollkommen unverständliche Verschiebung dieser beiden Schädelknochenpaare. Auch bei Corythosaurus casuarius und bei Corythosaurus intermedius liegen ähnliche Verhältnisse vor, was die Anordnung und gegenseitige Beziehung der Nasenbeine und Zwischenkiefer betrifft, aber bei Corythosaurus intermedius nehmen die Zwischenkiefer an der Zusammensetzung der hier ganz kleinen Röhre (R) keinen Anteil mehr und bei Corythosaurus casuarius ist diese Röhre überhaupt nicht mehr vorhanden.

Es drängt sich daher die Vermutung auf, daß Lambeosaurus Lambei die Vorstufe von Corythosaurus intermedius und diese wieder die von Corythosaurus casuarius ist und daß hier ein Umbildungsprozeß vorliegt, bei dem die noch bei Lambeosaurus vorhandene Röhre allmählich durch den immer höher und größer werdenden Schädelkamm verdrängt wird.

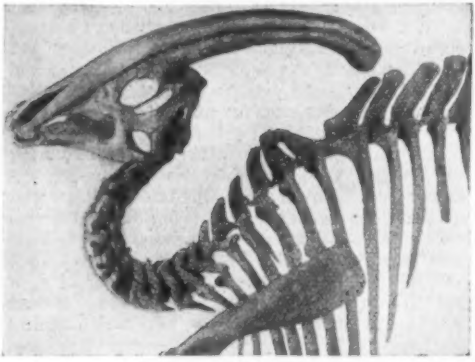


Fig. 10. Vorderer Teil des Skelettes von Parasaurolophus Walkeri Parks. Gefunden 1920 in der Belly River Series am Red Deer River, Alberta, Canada. Gesamtlänge des Schädels 81 cm. Original im Museum der Universität von Toronto, Canada. (Nach W. A. PARKS, 1922.)

Ein weiterer Vergleich von Lambeosaurus Lambei mit dem neuentdeckten Parasaurolophus Walkeri scheint mir nun in klarer Weise den Weg zu weisen, den diese Umformung des Schädels genommen hat, die unter den Wirbeltieren bisher einzig dasteht.

Die Röhre oder vielmehr das doppelte Röhrenpaar des Schädels von Parasaurolophus Walkeri ist nämlich allem Anscheine nach nicht, wie PARKS meint, in ihrem oberen Teile von den Nasenbeinen und in ihrem unteren von den Stirnbeinen (Frontalia) aufgebaut, sondern diese Röhre (R) besteht in ihrem oberen Teile ebenso wie bei Lambeosaurus aus den enorm nach hinten verlängerten Zwischenkiefern, im unteren dagegen aus den Nasenbeinen, während die Frontalia einen verhältnismäßig geringen Anteil am Schädelaufbaue und zwar nur in der Mitte der Schädeldecke hinter den Augenhöhlen und oberhalb derselben nehmen.

Die Vorstufe von Parasaurolophus Walkeri ist einstweilen unbekannt. Sie müßte entweder an der Basis der Belly River Series oder in einer noch älteren Schichtgruppe liegen. Indessen sind wir durch den Fund eines jugendlichen Schädels, der von LAMBE aus der Edmonton Series, also einer geologisch jüngeren Abteilung der Oberkreide Canadas beschrieben wurde, in der Lage, uns ein Urteil über die Art des Vorfahrenstadiums von Parasaurolophus zu bilden, da dieser Schädel einem noch nicht ausgewachsenen Individuum angehörte und daher eine frühere Vorfahrenstufe rekapitulierte. In der beigegebenen Abbildung ist zwar dieser Schädel, der unter dem Namen Cheneosaurus tolmanensis von LAMBE beschrieben wurde, auf die gleiche Größe wie die anderen Schädel gebracht, um den Vergleich zu erleichtern, er ist aber in Wirklichkeit nur etwa halb so groß als die Schädel von Parasaurolophus, Lambeosaurus und Corythosaurus (Fig. 11).

Die allgemeinen Verhältnisse in der Anordnung der Schädelknochen sind bei Cheneosaurus tolmanensis ungefähr dieselben wie bei den anderen in Vergleich gezogenen Trachodontidenschädeln, wenn wir von der Stirnregion absehen. Hier findet sich eine Auftreibung zwischen und vor den Augenhöhlen, die, wie LAMBE (1920) gezeigt hat, im vorderen Teile von den Zwischenkiefern, im hinteren aber von den Nasenbeinen gebildet wird und bei weitem nicht jene extreme Spezialisationshöhe wie die übrigen Typen aufweist. Es läßt sich leicht vorstellen, daß dieses Stadium das Anfangsstadium von Parasaurolophus bildet und daß aus ihm sich die weiteren Spezialisationen der jüngeren Trachodontiden aus der canadischen Oberkreide ableiten lassen. Es darf uns keineswegs befremden, daß Cheneosaurus geologisch jünger ist als Parasaurolophus, da es sich ja, wie noch einmal betont werden soll, um die Rekapitulation eines Vorfahrenstadiums in der ontogenetischen Entwicklung einer höchst spezialisierten Form zu handeln scheint.

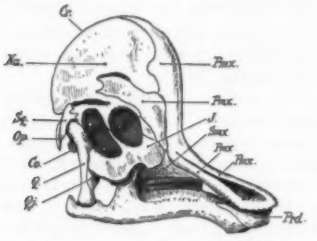
Wenn wir uns die Frage nach der mutmaßlichen physiologischen Bedeutung der Schädelröhre und des sich aus ihr entwickelnden Kammes vorlegen, so müssen wir nach Vergleichen mit analogen Fällen zu der Ansicht gelangen, daß *ein Funktionswechsel* die Ursache davon gewesen ist, daß sich aus dem Röhren-Doppelpaar allmählich ein scharfkantiger Schädelkamm entwickelte, während die Röhren reduziert wurden, wie dies die Reihe: Parasaurolophus Walkeri → Lambeosaurus Lambei → Corythosaurus intermedius → Corythosaurus casuarius zeigt. Das erste Anzeichen dieser Kammbildung ist schon bei Parasaurolophus wahrzunehmen, da sich die Profillinie des Oberrandes der Röhre oberhalb der Augenhöhlen stärker aufgetrieben zeigt als die sonst ganz gleichmäßig ver-

laufenden und gleichmäßig profilierten übrigen Partien des Oberrandes der Röhre.

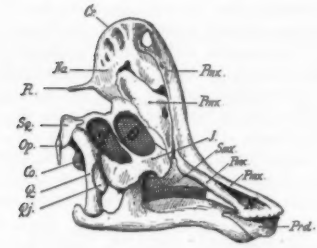
Die Ursache für diesen Funktionswechsel dürfte darin zu suchen sein, daß die Tiere ihre Schädelprotuberanz mehr und mehr als Angriffs- und Verteidigungswaffe, wohl in erster Linie *während der Paarungskämpfe*, benützten. Durch den nach oben wachsenden Schädelkamm wurde die ursprünglich zwar auch sehr wirkungsvolle, weil ungemein solid (Konstruktion aus vier Röhren!) gebaute Waffe zu einer scharf schneidenden umgestaltet, die sicher geeignet gewesen sein muß, den Gegner im Zweikampfe sehr erheblich zu verletzen. Daß solche Kämpfe schon bei Parasaurolophus stattgefunden haben müssen, zeigt die aller Wahrscheinlichkeit nach von einem Art- und Geschlechtsgenossen beigebrachte *schwere Verletzung* dreier linker Rippen und dreier Brustwirbel, die deutliche *Callusbildungen nach Frakturen unter Dislokationen* aufweisen (Fig. 10). Derartige schwere Verletzungen sind u. a. bei männlichen Krokodilen häufig zu beobachten (vgl. O. ABEL, Paläontol. Zeitschr., 5, 40. 1923).

Dies würde aber dann weiter zu der Erwägung führen, daß vielleicht *nur den Männchen* gewisser Trachodontiden derartige Schädelprotuberanzen, wie sie die besprochenen Röhren und Kämme darstellen, zukam, eine Ansicht, die bereits früher, schon vor der Entdeckung dieses merkwürdigen Trachodontiden, von F. BARON NOPSCA ausgesprochen wurde. Das Verhalten des Ischiumendes bei Parasaurolophus widerspricht dieser Annahme keineswegs, sondern stützt sie sogar.

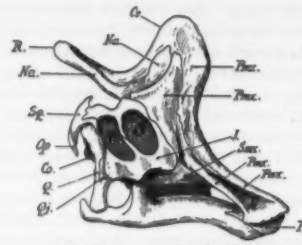
In phylogenetischer Hinsicht ist übrigens bei Parasaurolophus die auffallende Reduktion des



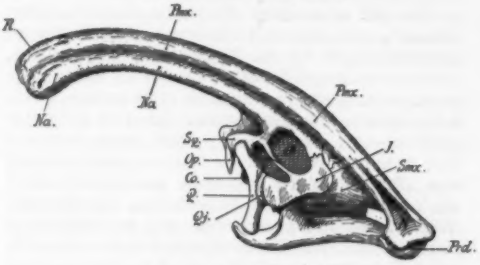
Corythosaurus casuarius Brown



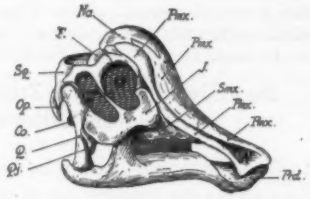
Corythosaurus intermedius Parks



Lambeosaurus Lambei Parks.



Parasaurolophus Walkeri Parks



Cheneosaurus tolmanensis Lambe

Fig. 11. Die Corythosaurus-Reihe: Darstellung der Entwicklung der Schädelprotuberanzen von Corythosaurus. *Originalzeichnung* auf Grundlage der Photographien und Zeichnungen von L. M. LAMBE, B. BROWN, W. A. PARKS nach den in den Museen von Ottawa, Toronto und New York befindlichen Originalen aus der Oberkreide von Alberta, Canada. Alle Schädel ungefähr auf die gleiche Größe gebracht, obwohl Cheneosaurus tolmanensis nur etwa halb so groß wie die übrigen ist, (Jugendform). Knochengrenzen z. T. *schematisiert*, Deutungen der Knochen z. T. *abweichend* von den bisherigen Ansichten. Mit Ausnahme von Cheneosaurus, der in der Edmontonformation gefunden wurde, stammen alle übrigen Schädel aus der Belly River-Formation.

Abkürzungen.

T = Schläfengrube, *O* = Augenhöhle, *N* = Nasenöffnung, *Co* = Gelenkshöcker des Hinterhauptes, *Cr* = Schädelkamm, *J* = Jochbein, *Na* = Nasenbein, *Op* = Opisthoticum, *Pmx* = Zwischenkiefer, *Smx* = Oberkiefer, *Prd* = Praedentale, *R* = röhrenartige Verlängerung des Schädeldaches, bei Parasaurolophus aus zwei übereinanderliegenden Röhrenpaaren bestehend, *Q* = Quadratum, *Qj* = Quadratojugale, *F* = Frontale, *Sq* = Squamosum.

nach hinten unter das Ischium gewendeten Pubis von großer Bedeutung. Bei den bipeden Ornithischiern ist, wie ich dies schon früher einmal in dieser Zeitschrift erörtert habe (4. Jahrg., 11. August 1916 S. 471, Fig. 3) das Pubis ebenso wie bei den Vögeln als langer, schlanker, unter das Ischium gewendeter Knochenstab ausgebildet, während an der sonst vom Pubis eingenommenen Stelle eine vom Vorderende des Pubis entspringende Neubildung, der Processus pseudopectinealis, liegt, der bei den Vögeln durch den vom Ilium (nicht vom Pubis!) entspringenden Processus pectinealis vertreten wird, der die gleiche Funktion besitzt.

Bei der sekundären Rückkehr zur tetrapoden Gangart, die bei verschiedenen Ornithischiern eingetreten ist (z. B. Triceratops, Stegosaurus, Ankylosaurus und Palaeoscincus usw.) verliert das unter dem Ischium liegende stabförmige Pubis seine funktionelle Bedeutung. Es wird entweder verdickt (bei Stegosaurus) oder stark verkürzt (bei Ankylosaurus) oder als rudimentärer Fortsatz des „Praepubis" (= Processus pseudopectinealis) nach innen gedreht (bei Triceratops). Bei den zum Wasserleben übergegangenen und zu Schwimmtieren gewordenen Trachodontinen *hat es ebenfalls seine Bedeutung eingebüßt und ist verkürzt worden;* diese Verkürzung hat nun bei Parasaurolophus einen extrem hohen Grad erreicht, wobei das Hinterende des Pubis abgeflacht wurde (Fig. 12).

Jedenfalls dürfen wir sagen, daß von wenigen Fundorten in dem an wichtigen Fossilresten so überreichen Boden Nordamerikas so viele merkwürdige Reptilientypen in der letzten Zeit bekannt geworden sind wie aus den Bad Lands am Red Deer River in Alberta, so daß die Fortsetzung der Ausgrabungen in diesem Gebiete noch viele wertvolle Entdeckungen erhoffen läßt.

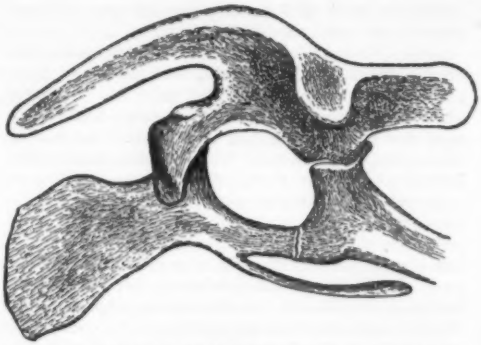


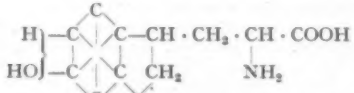
Fig. 12. Ansicht des Vorderteiles des linksseitigen Beckenteiles von Parasaurolophus Walkeri Parks, mit dem verkümmerten, fingerförmigen Schambein unter dem Sitzbein (an Stelle des z. B. bei Iguanodon sehr langen und schlanken Schambeines, das wie bei den Vögeln unter dem Sitzbein liegt). Der nach vorne gerichtete Fortsatz ist der Processus pseudopectinealis. (Nach W. A. PARKS, 1922.)

Das Eiweiß als eine Zusammenfassung assoziierter, Anhydride enthaltender Elementarkomplexe.

Von EMIL ABDERHALDEN, Halle a. S.

(Ausgeführt mit Mitteln der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften.)

Die Erforschung der Struktur der Proteine ist auf einem neuen Wendepunkt angelangt. Der größte Fortschritt in der Erkenntnis der Zusammensetzung der Eiweißstoffe war die Entdeckung, daß bei ihrem Abbau *α-Aminosäuren* bestimmter Art auftreten. Damit waren die Bausteine des Eiweißes erkannt. Es dürften zur Zeit mit wenig Ausnahmen alle aus Eiweiß darstellbaren Aminosäuren bekannt sein. Immerhin muß man mit Angaben nach dieser Richtung hin vorsichtig sein; ist es doch in jüngster Zeit mir und meinem Mitarbeiter SICKEL gelungen, ein seinerzeit von mir und KEMPE aufgefundenes *Indolderivat* als regelmäßigen Bestandteil des Caseins erneut festzustellen. Dieser *biologisch außerordentlich bedeutungsvollen* Aminosäure kommt sehr wahrscheinlich die folgende Struktur zu:



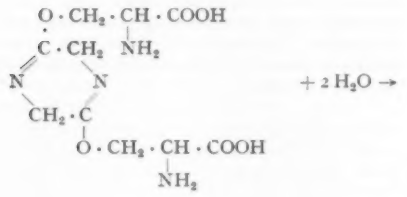
β-Bz-oxy-Pr-dihydroindolalanin.

Es ist wohl möglich, daß noch andere Aminosäuren entdeckt werden. Ich bin selbst zur Zeit mit der Suche nach solchen beschäftigt.

Lange Zeit erfuhr das Problem über die Struktur des Eiweißes keine wesentliche Förderung, weil es trotz heißer Bemühungen nicht gelingen wollte, aus Proteinen Komplexe abzuspalten, die mehrere Aminosäuren gebunden enthalten und deren Natur eindeutig festzustellen war. Einen mächtigen Impuls erhielt das ganze Forschungsgebiet in dem Augenblick, in dem EMIL FISCHER mit genialem Blick auf der einen Seite das Studium der Zusammensetzung der verschiedenartigsten Proteine an Aminosäuren mit einer neuen Methode (Estermethode) in Angriff nahm und zugleich den erfolgreichen Versuch durchführte, Aminosäuren miteinander zu verknüpfen. In ganz kurzer Zeit hatte er mit Hilfe von Mitarbeitern eine sehr große Zahl von Komplexen dargestellt, die alle im Prinzip dieselbe Struktur besitzen. Er nannte diese Verbindungen *Polypeptide*. Sie enthalten die einzelnen Bausteine in *säureamidartiger* Verkettung nach dem Typus

Es ergab sich nun die Frage, ob im Eiweiß säureamidartig verkettete Aminosäuren vorhanden sind. Für ihr Vorkommen spricht der Umstand, daß Polypeptide durch Fermente in ihre Bausteine, d. h. in Aminosäuren, aufgespalten werden. Ferner ist es geglückt, aus Proteinen beim stufenweisen Abbau Polypeptide zu isolieren.

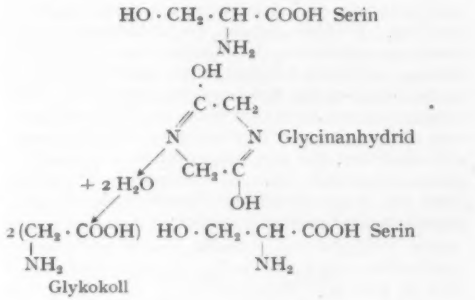
Die ganze Forschung über die Struktur der Proteine ist dann längere Zeit durch die Kriegswirren in den Hintergrund gedrängt worden. Es fehlte jedoch nie an Bemühungen, bestimmte Atomgruppierungen im Eiweiß durch bestimmte Einwirkungen, wie Einführung von Jod (BLUM und ED. STRAUSS), Nitrierung und ähnlichen Eingriffen (A. KOSSEL), und ferner durch Kuppelung mit Säurechloriden (E. ABDERHALDEN), festzulegen. In neuester Zeit ist das Strukturproblem der Proteine von bisher wenig beachteten Gesichtspunkten erneut in Angriff genommen worden. Der Umstand, daß es geglückt ist, den Nachweis zu führen, daß in den Polysacchariden nicht in größerer Zahl aneinandergereihte Moleküle von Monosacchariden zu erblicken sind (KARRER, H. PRINGSHEIM, HESS u. A.), sondern vielmehr anhydridartig vereinigte Ringkomplexe vorhanden sind, legte die Vermutung nahe, daß auch das Eiweiß nicht nur als Polypeptidkette aufzufassen sein dürfte. Verschiedene Autoren wie LEVENE, ABDERHALDEN, DAKIN u. A. hatten bei der Aufarbeitung von Abbaustufen aus Eiweiß Anhydride, und zwar 2,5-Diketopiperazine verschiedener Zusammensetzung, aufgefunden. Vor einiger Zeit ist es mir mit meinen Mitarbeitern SUZUKI und KOMM weiterhin gelungen, gut definierbare Anhydride aufzufinden, an deren Aufbau mehr als 2 Aminosäuren beteiligt sind.



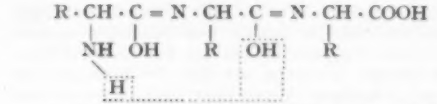
Diesen Beobachtungen mußte weiter nachgegangen werden und zwar nach verschiedener Richtung. In erster Linie war festzustellen, ob die Bildung von Diketopiperazinen der Methodik ihrer Gewinnung zur Last gelegt werden kann. In der Tat konnte ich gemeinsam mit KOMM den Beweis führen, daß aus Dipeptiden unter bestimmten Bedingungen Diketopiperazine hervorgehen, die man unter diesen a priori nicht erwarten konnte. So entstehen bereits Anhydride beim Kochen von Dipeptiden mit Wasser. Mit dieser Feststellung hatte zunächst der Befund von Diketopiperazinen unter den Spaltprodukten der Proteine nur insofern großes Interesse, als für die Annahme der säureamidartigen Verkettung der Aminosäuren im Eiweißmolekül ein neuer Beweis erbracht war; dagegen durfte nicht geschlossen werden, daß im Eiweiß Diketopiperazinringe in irgendeiner Form vorgebildet sind. Dagegen verbleiben aus mehr als zwei Aminosäuren bestehende Anhydride in ihrer Entstehung einstweilen noch unaufgeklärt. Es ist nicht geglückt, ähnliche Verbindungen aus Polypeptiden, an deren Aufbau mehr als 2 Aminosäuren beteiligt sind, zu gewinnen. Wir dürfen deshalb einstweilen jenen Komplexen eine Sonderstellung einräumen. Es bleibt die Möglichkeit, daß sie primär im Eiweiß enthalten sind.

Um zu prüfen, ob *im Eiweiß Anhydride und vor allem 2,5-Diketopiperazine bzw. ihnen nahestehende Verbindungen enthalten sind*, wurden folgende Wege eingeschlagen:

1. Es wurde versucht (ABDERHALDEN und KLARMANN) *durch Synthese* aus 2,5-Diketopiperazinen und Aminosäuren Verbindungen herzustellen, die dann als Modell zum Studium der Eigenschaften von solchen Komplexen dienen sollten. Leider ergaben sich bei der Darstellung dieser Verbindungen einstweilen noch unüberwindliche Schwierigkeiten. Es haben KARRER und seine Mitarbeiter ebenfalls Derivate von Diketopiperazinen hergestellt und dabei die Frage aufgeworfen, ob nicht im Eiweiß der *Pyrazinring* vertreten sein könnte. KARRER stellt sich vor, daß eine Verbindung der folgenden Art:

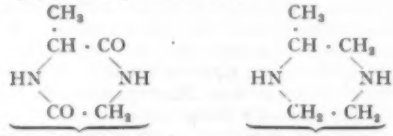


bei der Hydrolyse 2 Moleküle Serin und 2 Moleküle Glykokoll unter Aufnahme von 4 Molekülen Wasser liefern könnte. Würden sich derartige Komplexe im Eiweiß vorfinden, dann hätten wir den interessanten Fall vor uns, daß *im Eiweiß nicht vorgebildete Aminosäuren, darunter auch Oxysäuren, beim Abbau unter Hydrolyse sekundär entstehen würden.* Übrigens könnten auch noch andere anhydridartige Verknüpfungen in Frage kommen, wenn man von der folgenden tautomeren Form von Polypeptiden ausgeht:



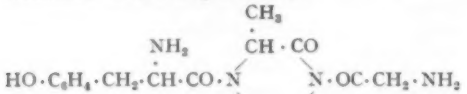
2. An einem großen Material wurde das Verhalten von Polypeptiden und 2,5-Diketopiperazinen gegenüber *reduzierenden Agenzien* geprüft (ABDERHALDEN mit STIX, KLARMANN und SCHWAB). Es zeigte sich, daß ein prinzipieller Unterschied bei der Reduktion der beiden genannten Verbindungen besteht. ***Aus den Diketopiperazinen erhält man unter anderem die entsprechenden Piperazine, während die Polypeptide weitgehend gespalten werden und mehrere Bruchstücke liefern.***

3. Auf Grund dieser Beobachtung wurde nun zunächst am *Seidenfibroin*, bzw. *Seidenpepton* geprüft, ob bei der unter genau den gleichen Bedingungen, wie sie bei demselben Eingriff an Polypeptiden und Diketopiperazinen gewählt worden waren, durchgeführten Reduktion *Piperazine* entstehen. Es ist dies in der Tat der Fall. ABDERHALDEN und STIX konnten *Methylpiperazin* isolieren. Dieses geht, wie die folgende Formel zeigt, aus *Alanyl-glycinanhydrid* hervor:

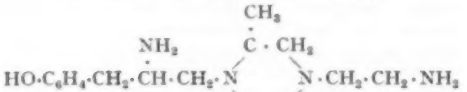


Alanyl-glycinanhydrid Methylpiperazin

ABDERHALDEN und SCHWAB gewannen außerdem *3-Methyl-6-oxymethylpiperazin*. Dieser Verbindung entspricht *das 2,5-Diketopiperazin Seryl-alanin-anhydrid*. Endlich gelang die Isolierung eines Reduktionsproduktes, das offenbar dem von EMIL FISCHER und EMIL ABDERHALDEN isolierten Tetrapeptid *Glycyl-alanyl-glycyl-tyrosin* entspricht. ABDERHALDEN und SCHWAB konnten als offenbare Vorstufe des gewonnenen Piperazins ein Anhydrid aus Seide isolieren, das aus den erwähnten 4 Aminosäuren aufgebaut ist. Die folgenden Formeln geben die wahrscheinlichen Beziehungen der gewonnenen Verbindungen wieder:



Tyrosyl-(alanyl-glycinanhydrid)-glycin.

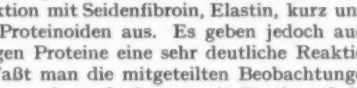


Reduziertes Produkt.

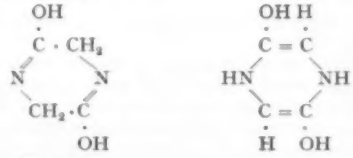
4. Es wurde ferner der Versuch unternommen (ABDERHALDEN mit KLARMANN und KOMM), durch geeignete *Oxydationsmittel* aus Diketopiperazinen charakteristische Verbindungen zu gewinnen, die aus Polypeptiden nicht entstehen. Auch in dieser Richtung sind Erfolge erzielt. Das Ziel ist auch hier, die gleichen Methoden auf Eiweiß und Peptone zu übertragen.

5. Nachdem der Beweis geführt war, ***daß aus Eiweiß bzw. Peptonen sich durch Reduktion Piperazine gewinnen lassen, mußte eindeutig entschieden werden, ob im Eiweiß wirklich Anhydridkomplexe vorhanden sind.*** Der Einwand, daß die Piperazine aus noch unbekannten Umgruppierungen entstanden sein könnten, war wenig begründet. Er mußte aber dennoch berücksichtigt werden. Nun sind Farbreaktionen bekannt, die für Carbonylgruppen charakteristisch sind. 2,5-Diketopiperazine geben mit *Pikrinsäure* und *Sodalösung* eine rotbraune Färbung. Ein weiteres Reagenz, das sich sehr bewährt hat, ist das von v. BITTÓ, nämlich *m-Dinitrobenzol in alkalischer Lösung*. Keine Aminosäure und kein Polypeptid zeigt, wie ABDERHALDEN und KOMM beweisen konnten, mit den angewandten Reagenzien eine für Carbonylgruppen charakteristische Farbreaktion, wohl aber erzielten wir mit sämtlichen Diketopiperazinen, soweit diese in dem Lösungsmittel, das bei der Anstellung der Reaktion zur Anwendung kam, löslich waren, eine sehr schöne Farbreaktion. Nun ist von grundlegender Bedeutung, ***daß sämtliche Proteine und hochmolekularen Peptone, die wir zu prüfen Gelegenheit hatten, eine ganz ausgesprochene Carbonylreaktion geben.*** Ganz besonders stark fällt die Reaktion mit Seidenfibroin, Elastin, kurz und gut, mit Proteinoiden aus. Es geben jedoch auch die übrigen Proteine eine sehr deutliche Reaktion.

Faßt man die mitgeteilten Beobachtungen zusammen, dann darf man mit Bestimmtheit zum Ausdruck bringen, ***daß der Nachweis von 2,5-Diketopiperazinringen im Eiweiß geglückt ist, wobei die Möglichkeit tautomerer Formen des erwähnten Anhydrids gewahrt bleibt.*** In Betracht kommen die folgenden Formeln:



2,5-Diketopiperazin.



Pyrazin.

Nach allen gemachten Erfahrungen ist dagegen die Annahme von Pyrazinringen im Eiweiß noch in keiner Weise gesichert. Sowohl die Kombination des Pyrazinringes mit einer Aminosäure in

ätherartiger Verbindung als auch diejenige in Esterform würde keine der beobachteten Farbreaktionen geben können. Es wäre natürlich trotzdem möglich, daß derartige Kombinationen im Eiweiß zugegen sind. Es ist jedoch zu bedenken, daß Oxysäuren im Eiweiß, soweit unsere Kenntnisse reichen, wahrscheinlich zum großen, wenn nicht größten Teil ihre Oxygruppe nicht besetzt haben. Das Tyrosin z. B. zeigt auch im Eiweiß Millonsche Reaktion. Der Nachweis von Alanyl-serinanhydrid bzw. des entsprechenden Piperazins zeigt, daß auch Serin nicht mit der OH-Gruppe mit anderen Bausteinen verknüpft ist. Es besteht somit kaum ein Zweifel, daß Oxysäuren im Eiweiß vorgebildet sind und jedenfalls nicht restlos sekundär zum Vorschein kommen.

Der nunmehr eindeutig geführte Beweis, daß im Eiweiß Ringsysteme bekannter Art vorgebildet sind, gibt Veranlassung, der Frage nachzugehen, ob man unter dem Sammelbegriff „Eiweiß" sich ein Molekül vorzustellen hat, das für jede einzelne Eiweißart und jedes einzelne Eiweißindividuum eine bestimmte Größe besitzt, oder aber, ob nicht viel mehr das Eiweiß eine Zusammenfassung von untereinander mittels Nebenvalenzen assoziierter Komplexe ist. Wir neigen der letzteren Ansicht zu. Es liegt der Vergleich mit dem Aufbau der Polysaccharide sehr nahe. Vor allen Dingen lockt der bis jetzt am eingehendsten studierte Eiweißkörper, das Seidenfibroin, zu einem Vergleich mit der Struktur der Cellulose. HESS hat jüngst darauf hingewiesen, daß diese als ein Produkt aufgefaßt werden kann, in dem eine noch unbekannte Anzahl von Elementarkomplexen (sehr wahrscheinlich Anhydride einfacher Natur) durch Assoziationen mittels Nebenvalenzen vereinigt sind. Es ist leicht möglich, daß im Eiweiß ähnliche Verhältnisse vorliegen, nur wird nicht ein einziger Elementarkomplex sich wiederholen, vielmehr ist zu erwarten, daß im Eiweiß mehrere verschiedene Kombinationen anzutreffen sind. Dabei bleibt die Möglichkeit gewahrt, daß die eine oder andere, bisher als Eiweißbaustein betrachtete Aminosäure erst sekundär bei der Hydrolyse in Erscheinung tritt. Im wesentlichsten dürften gemischte Anhydride, vielleicht kombiniert mit Aminosäuren und vielleicht auch darüber hinaus mit Polypeptiden, als die Elementarkomplexe der Proteine aufzufassen sein. Wie viele solcher Komplexe nun im Eiweiß vereinigt sind, ist noch unbekannt. Im Seidenfibroin wird man an die Komplexe Glycyl-alanin-anhydrid, Glycyl-tyrosinanhydrid, Alanyl-serinanhydrid zu denken haben. Diese Anhydride können ihrerseits wieder mit Aminosäuren in Verbindung stehen. Es ist leicht möglich, daß die Elementarkomplexe der Proteine zwar mannigfaltig, jedoch an und für sich recht einfacher Natur sind. Von diesem Gesichtspunkte aus wird in Zukunft die Struktur der Proteine zu beurteilen sein.

Es ergeben sich von der geschilderten Auffassung der Struktur der Proteine aus ganz neue Gesichtspunkte in bezug auf die *physikalischen Eigenschaften der Proteine*. Die Zustandsänderungen können sehr leicht durch Umlagerungen eintreten. Es kann zum Beispiel die Enolstruktur in die stabilere Ketostruktur übergehen. Es ist sehr leicht möglich, daß die bipolare Struktur der Aminosäuren und auch der Polypeptide im Sinne von PFEIFFER im Eiweiß selbst, d. h. in den angenommenen Komplexen, zum Ausdruck kommt. Es besteht für mich kein Zweifel, daß zahlreiche Erscheinungen auf dem Gebiete der physikalischen Chemie der Proteine eine Erklärung finden werden, sobald Genaueres über die angenommenen Elementarkomplexe und über ihre gegenseitige Verknüpfung bekannt sein wird. Man wird Peptisation und Agglutination usw. nicht mehr ausschließlich als kolloidchemische Probleme anzusehen haben, vielmehr wird man an die Möglichkeit der Lösung und Bindung von Elementarkomplexen und auch einer Assoziation von solchen denken.

Zahlreiche *rein biologische Probleme* erhalten gleichfalls eine neue Beleuchtung. Es besteht die Möglichkeit des Austausches bestimmter Komplexe, d. h. es kann ein Protein in ein anderes übergehen, ohne daß ein Abbau zu Aminosäuren unbedingt notwendig ist. Es könnte z. B. ein Protein, das Glykokoll aufweist, durch Abgabe der diese Aminosäuren enthaltenden Elementarkomplexe in ein glykokollfreies Eiweiß übergehen. Es ist wohl möglich, daß die verschiedenen Proteine sich wenigstens zum Teil durch die Anzahl und die Art der Elementarkomplexe unterscheiden. Das ganze Problem der Eiweißsynthese wird neu aufgerollt.

Nicht ohne Folgen dürfte die neue und, was das Wesentlichste ist, durch die Arbeiten von mir und meinen Mitarbeitern, unter denen ich besonders KOMM, STIX und SCHWAB hervorhebe, experimentell begründete Auffassung der Struktur der Proteine für die Auffassung der Wirkung der *Proteasen* sein. Es ist wohl möglich, daß dem Abbau des Eiweißes zunächst eine Absättigung von Nebenvalenzen zugrunde liegt. Dadurch werden Elementarkomplexe frei. Bei diesen käme dann die Aufsprengung der Ringe und im Anschluß daran die Lösung der noch verbundenen Aminosäuren in Frage. Nur für den letzteren Vorgang sind Fermente erforderlich (Polypeptidasen). Für die Ringaufspaltung genügt, worauf ABDERHALDEN schon hingewiesen hat, die Säure des Magensaftes bzw. das Alkali der Verdauungssäfte, die sich in den Darmkanal ergießen. Es wäre von hohem Interesse, wenn erwiesen werden könnte, daß eine der Wirkungen von Fermenten die Loslösung von Komplexen, die untereinander assoziiert sind, wäre. Es ist ganz gut denkbar, daß die Fermente selbst mittels Nebenvalenzen ihre Wirkung entfalten.

Von besonderem Interesse wird das Studium des Verhaltens der seinerzeit von F. HOFMEISTER mittels Neutralsalzen aus Verdauungsgemischen abgeschiedenen Peptone (bzw. Albumosen) sein. Vorläufige Studien zeigen, daß die Carbonyl-Farbenreaktionen nicht mit allen diesen Produkten positiv ausfallen. Ebenso wird das Plasteinproblem

vom Gesichtspunkt der Schließung oder Aufsprengung von Ringsystemen erneut zu erforschen sein.

Selbstverständlich muß auch der Bildung der Proteine im Pflanzenreich erneute Aufmerksamkeit zugewandt werden. Es ist wohl möglich, daß zunächst nicht Aminosäuren, sondern direkt Anhydride gebildet werden, und zwar könnten vielleicht Beziehungen zu den Elementarkörpern der Polysaccharide und insbesondere der Stärkeanteile vorhanden sein. Es sei noch ganz besonders auf die Beziehungen von Diketopiperazinen zu Bausteinen bzw. Strukturen von Alkaloiden hingewiesen. Auch in dieser Richtung ergeben sich von der entwickelten Auffassung der Struktur der Proteine aus ganz neue Ausblicke.

Ich bin mir wohl bewußt, daß noch eine weite Strecke mühevoller Forscherarbeit zurückzulegen ist, bis die entwickelte Annahme des Aufbaus der Proteine restlos bewiesen ist. Die erwähnten Ergebnisse der neueren Forschung berechtigen jedoch ohne Zweifel zur Aufstellung einer Arbeitshypothese[1]).

[1]) Eine „cyklische" Struktur ganz anderer Art (Pyrrolringe), als von uns angenommen wird, eignet TROENSEGAARD den Proteinen zu. Es bleibt abzuwarten, inwieweit seine interessanten Beobachtungen einen Einblick in die Struktur der Proteine gewähren. Niemals darf man bei der Erörterung möglicher Strukturen die Tatsache aus dem Auge verlieren, daß Fermente Eiweiß in Aminosäuren zu zerlegen vermögen! Angefügt sei (bei der Korrektur), daß KARRER und GRÄNACHER in einer mir eben zugegangenen Arbeit der Möglichkeit des Vorkommens des Imidazolon- und Oxazol- bzw. Oxazolinkomplexes im Eiweiß gedenken.

Bohrs neue Strahlungshypothese und der Energiesatz.

Von E. SCHRÖDINGER, Zürich.

Im Maiheft des Phil. Mag. (gleichzeitig deutsch in Zeitschr. f. Phys. **24**, S. 69) entwickeln BOHR, KRAMERS und SLATER eine neue Auffassung von dem Zusammenhang des Strahlungsvorganges mit den sog. „Quantensprüngen", welche vom Standpunkte des Physikers und des Philosophen gleich großes Interesse beansprucht. Denn durch sie gewinnt die schon von mehreren Seiten[1]) geäußerte Meinung, daß der molekulare Einzelvorgang vielleicht nicht durch „Gesetze" eindeutig kausal bestimmt sei, zum ersten Male greifbare Gestalt. Die Grundzüge des neuen Bildes, das übrigens in anderer Beziehung eine weitgehende Wiederaufnahme der klassischen elektromagnetischen Theorie der Strahlung unter Ablehnung jeder „Lichtquantenhypothese" bedeutet, sind kurz folgende:

Die Atome und Moleküle erzeugen Kugelwellen von derjenigen allgemeinen Beschaffenheit, die man in der klassischen, elektromagnetischen Theorie angenommen hat. Sie geben Strahlung in dieser Form *erstens* spontan ab, aber nicht, wie die Quantentheorie bisher annahm, in bestimmten Quanten und als direkte Folge des *Übergangs* aus einem stationären Zustand[2]) in einen anderen mit kleinerer Energie, sondern sobald und *solange* sie sich in einem stationären Zustand befinden, von dem aus ein oder mehrere (korrespondenzmäßig „erlaubte") Übergänge in Zustände von kleinerer Energie *möglich* sind. Und zwar werden dabei gleichzeitig und andauernd genau *so viele* monochromatische Kugelwellen abgegeben, als solche Übergänge möglich sind, jede „entspricht" einem bestimmten Übergang und hat den aus der betreffenden Energiedifferenz durch Division mit h errechneten Frequenzwert. Während dieser Strahlungsabgabe *ändert sich der stationäre Zustand nicht.* Die Strahlungsabgabe ist lediglich verknüpft mit dem Bestehen einer gewissen, zeitlich unveränderlichen *Wahrscheinlichkeit* λdt dafür, daß der betreffende Übergang im nächsten Zeitteilchen dt wirklich eintritt. Sind mehrere Übergänge möglich, so konkurrieren die verschiedenen Wahrscheinlichkeiten und es hängt vom Zufall ab, welche sich erfüllt, genau wie beim gegabelten radioaktiven Zerfall. Das schließliche Eintreten eines Überganges hat für die *Strahlung* keine andere Folge, als daß sie, in der bisherigen Form, *abbricht* und von nun an in derjenigen Form anhebt, die den eventuell möglichen weiteren Übergängen von dem jetzt erreichten Energieniveau auf noch tiefere entspricht. Die *Energiebilanz* ist *nur im Durchschnitt* gewahrt, und zwar dadurch, daß jeder Wahrscheinlichkeitskoeffizient λ zur *Intensität* der betreffenden Ausstrahlung in einem genau bestimmten Verhältnis steht, so daß die während der *durchschnittlichen* Verweilzeit auf dem oberen Niveau in Form von Strahlung einer bestimmten Frequenz abgegebene Energiemenge genau gleich ist dem Produkt aus dem wirklichen Energieverlust des Atoms bei dem *entsprechenden* Übergang, multipliziert mit dem Bruchteil der Fälle, in denen gerade dieser Übergang gewählt wird (falls nämlich *mehrere* Übergänge möglich sind; andernfalls ist der genannte Bruchteil natürlich Eins, und die Ausdrucksweise vereinfacht sich. Man rechnet leicht nach, daß in *jedem* Falle einfach

$$s = \lambda\varepsilon$$

sein muß, wo s die pro Zeiteinheit abgegebene Strahlungsenergie einer bestimmten Frequenz, ε der entsprechende Energieverlust des Atoms, λ der schon oben eingeführte Wahrscheinlichkeitskoeffizient des betreffenden Übergangs).

[1]) O. W. RICHARDSON, The electron theory of matter, 2. Aufl., S. 507, Cambridge 1916; F. EXNER, Vorlesungen über die physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften, S. 645–702, Wien: Deuticke 1919.

[2]) Stationärer Zustand = Energieniveau.

Außer diesen „spontanen" Kugelwellen sind noch „induzierte", wir könnten auch sagen „gestreute" Kugelwellen anzunehmen, die auftreten, so oft äußere Strahlung auf das Atom oder Molekül auftrifft. Ihnen entspricht eine „induzierte" Übergangswahrscheinlichkeit (Ü. W.), die im übrigen von gleicher Art ist wie die spontane, nur daß erstens ihr Wahrscheinlichkeitskoeffizient von der Intensität der auffallenden Strahlung abhängt und mit ihr verschwindet, und daß zweitens solche Ü. W. auch für den Übergang zu *energiereicheren* Niveaus induziert werden. (Diese Annahmen entsprechen durchaus denen von EINSTEIN in seiner berühmten Strahlungsarbeit von 1917). Wir wollen nun 2 Fälle unterscheiden, zwischen denen eine scharfe Trennung in Wahrheit allerdings nicht anzunehmen ist, nämlich *erstens:* die Frequenz der auftreffenden Primärwelle ist genau *gleich* einer Spontanfrequenz desjenigen Zustandes, in dem sie das Atom antrifft, d. h. einer Spontanfrequenz, für die das betreffende Niveau Anfangs- *oder* Endniveau ist; *zweitens:* die Frequenz der Primärwelle stimmt mit *keiner* Spontanfrequenz überein. In *beiden* Fällen ist die Frequenz der *induzierten* Welle der *Primärfrequenz* gleich. Im *ersten* Falle, den wir nun genauer ins Auge fassen, steht die induzierte Welle zur primären in einer solchen Phasenbeziehung, daß sie derselben durch Interferenz relativ *bedeutende* Energiemengen entzieht oder hinzufügt. Eine aus der klassischen Dispersionstheorie wohlbekannte Rechnung lehrt, daß beim Zusammenwirken vieler gleichartiger „streuender" Systeme dieses Entziehen oder Hinzufügen von Energie hauptsächlich *in Richtung* der Primärwelle erfolgt: wir haben entweder *Absorption* oder *gerichtete Verstärkung* der Primärwelle. Welches von beiden, hängt von der *Phase* der induzierten Wellen ab, und diese wieder soll davon abhängen, ob der zugehörige induzierte Übergang zu einem *höheren* oder zu einem *tieferen* Energieniveau führt. (Daß gerichtete Verstärkung, welche dem *zweiten* Fall entspricht, nie wirklich *beobachtet* wurde, hat seinen Grund darin, daß wohl bei allen Versuchen *mehr* Atome auf dem *unteren* Niveau eines bestimmten Überganges vorhanden waren, als auf dem oberen, so daß die Absorption überwog). — Stets muß natürlich die als Strahlung auftretende oder verschwindende Energie *durchschnittlich* gleich sein der verlorenen oder gewonnenen Atomenergie. Daher müssen im jetzt betrachteten Fall die induzierten Ü. W. relativ *bedeutend* sein, entsprechend der relativ *erheblichen* energetischen Beeinflussung der Primärwelle, und sie müssen im übrigen der auftreffenden Strahlungsintensität *proportional* sein, weil dies experimentell für die energetische Beeinflussung (Absorption) feststeht.

Gehen wir *zweitens* zu dem Fall über, daß die Primärfrequenz *nicht* mit einer Spontanfrequenz zusammenfällt. Dann soll das Atom, wie gesagt, gleichfalls mit einer Kugelwelle von Primärfrequenz reagieren. Aber die *energetische* Beeinflussung der Primärwelle durch die Kugelwelle und dementsprechend die induzierten Ü. W. sind jetzt *höchst unbedeutend*. Das heißt aber nicht, daß die Primärwelle *überhaupt* nur unbedeutend affiziert wird. Die Geringfügigkeit des *energetischen* Einflusses wird mit verursacht durch eine veränderte *Phasenbeziehung* und diese begünstigt im Falle vieler gleichartiger streuender Systeme gerade einen *solchen* Einfluß auf die Primärwelle, wie er in durchsichtigen Medien als veränderte Phasengeschwindigkeit (Dispersion), in anderen Fällen (z. B. beim Blau des Himmels) als Streuung, bei ebenen Metallflächen als Reflexion, bei Röntgenstrahlen in Kristallen als Beugungsfächer beobachtet wird. (Über diese Fragen wird eine besondere Arbeit von KRAMERS in Aussicht gestellt[1]).

Der Fall, wo — nach alter Auffassung — das $h\nu$ der Primärwelle zur Ionisierung des Atoms ausreicht, d. h. ausreicht, um eines seiner Elektronen auf eine aperiodische Bahn zu werfen, die es dauernd vom Restatom entfernt, ist den *erstbesprochenen* zuzurechnen: die Primärfrequenz *stimmt überein* mit derjenigen Frequenz, die das Atom *beim ursprünglichen Vorhandensein jener aperiodischen Bahn* spontan kontinuierlich ausstrahlen würde, in Verbindung mit einer gewissen „Wahrscheinlichkeit für Verschluckung" des Elektrons. Wir haben daher anzunehmen, daß beim Auftreffen einer ionisierungsfähigen Primärstrahlung auf das unversehrte Atom sofort eine kohärente, die Primärstrahlung *erheblich* schwächende induzierte Strahlung einsetzt, und als energetisches Korrelat dazu eine *erhebliche* Ü. W., d. h. diesfalls eine *Ionisierungswahrscheinlichkeit*. Allerdings gewinnt nun gerade in diesem Falle ein Umstand erhöhte Bedeutung, von dem wir bisher absichtlich geschwiegen haben, der aber in Wahrheit *stets* zu berücksichtigen ist: neben der *Energiebilanz* muß auch die Impulsbilanz *durchschnittlich* gewahrt bleiben. Das geschieht so, daß bei jedem „Übergang" das Atom als Ganzes einen kleinen Stoß bekommt, wobei sich übrigens die Notwendigkeit ergibt, solche kleine Stöße auch für sich allein als induzierte Übergänge, ohne Verbindung mit einer anderen Energieänderung, zuzulassen. Das phänomenologische Korrelat der Stöße ist der Strahlungsdruck. Während nun die Stöße, wie gesagt, im allgemeinen vom Atom als Ganzen aufgenommen werden, wodurch sie wegen der großen Masse des Kerns energetisch ziemlich belanglos sind, hat man anzunehmen, daß bei der *Ionisierung* eine andere Reaktionsweise, bei welcher *das beteiligte Elektron allein* den ganzen Impuls aufnimmt, *an Wahrscheinlichkeit gewinnt*, wenn das charakteristische Produkt $h\nu$ der Primärstrahlung die Ionisierungsenergie um ein Vielfaches übertrifft. In voller Reinheit verwirklicht sich diese Reaktionsweise an einem *freien* Elektron, wo sie die allein mögliche ist. In enger Anlehnung an die Theorie von COMPTON (Phys. Rev. **21**, 483. 1923)

[1]) A. b. d. K.: S. auch H. A. KRAMERS, Nature **113**, 673. 1924.

soll ein (ruhendes) freies Elektron beim Auftreffen einer Primärwelle *sofort* mit einer Kugelwelle antworten, wie nach der klassischen Theorie ein Elektron sie ausstrahlen *würde*, das mit bestimmter, von der Primärfrequenz abhängiger Geschwindigkeit in der Primärstrahlrichtung bewegt *wäre*. In Verbindung damit entsteht eine gewisse Ü. W. des Elektrons zu einer von denjenigen Geschwindigkeiten, die auch nach der Compton-Debyeschen, auf die ältere Auffassung gegründeten Theorie möglich sein sollen.

Schließlich möge noch kurz auf einen wichtigen Umstand hingewiesen werden: das Zerhacken der Atomstrahlung in Wellenzüge von begrenzter Länge, das nach der neuen Auffassung mit den Übergängen zusammenhängt, verspricht ein Bild von der „natürlichen", d. h. nicht durch Stark-effekte, Dopplereffekt, Molekülzusammenstöße u. dgl. entstellten *Schärfe* der Spektrallinien und zugleich von der von W. WIEN direkt untersuchten mittleren *Leuchtdauer* der Atome zu geben; zwei Dinge, die nach der klassischen Theorie und wohl auch nach dem intuitiven Gefühl jedes Physikers eng zusammenhängen, ohne daß die „alte Quantentheorie" mehr als ganz vage Anhaltspunkte für einen solchen Zusammenhang beizubringen imstande war.

Nach dieser Darlegung der Grundzüge von BOHRS neuer Auffassung, wie sie sich dem Verfasser darstellt, wollen wir einige weitere Betrachtungen an sie knüpfen. Sozusagen das Aufregendste an ihr ist die grundsätzliche Verletzung des Energie-Impulssatzes bei jedem Strahlungsprozeß. Diese Verletzung ist nicht etwa geringfügig. Ein Atom habe z. B. seine zweitniedrigste Energiestufe mit dem Energieüberschuß ε über das Normalniveau erreicht und kehre unter dem Einfluß der spontanen Übergangswahrscheinlichkeit nach einiger Zeit auf sein Normalniveau zurück; gibt man nun der Zeitkonstante des „radioaktiven" Rückfallgesetzes einen solchen Wert, daß die in der Zwischenzeit kontinuierlich ausgestrahlte Energie *durchschnittlich* den Wert ε erhält, so rechnet man leicht nach, daß im *Einzelfall* eine gar nicht unerhebliche Wahrscheinlichkeit selbst für einen Wert größer als $2\,\varepsilon$ besteht oder auch für einen Wert kleiner als $\frac{\varepsilon}{10}$ (die betreffenden Wahrscheinlichkeiten sind 0,135 bzw. 0,095). Für den mittleren „Fehler", den das Atom bei einem derartigen Umsatz der Energiemenge ε macht, ergibt sich: ε, d. h. durchschnittlich 100%. (Unter „mittlerem Fehler" verstehen wir die Quadratwurzel aus dem durchschnittlichen Quadrate des Fehlbetrages oder Mehrbetrages an gelieferter Strahlungsenergie.) Nun wissen wir aus den Versuchen von W. WIEN, daß die mittleren Verweilzeiten außerordentlich kurz sind, im Falle der Wasserstofflinien $\tau = 2 \cdot 10^{-8}$ Sekunden. Bei höherer Temperatur, sobald ε mit der mittleren Translationsenergie eines Gasmoleküls $\left(\frac{3\,k\,T}{2}\right)$ vergleichbar wird, hat jeder Körper einen nicht unerheblichen Bruchteil seines Energieinhaltes in Form von solcher Anregungsenergie aufgespeichert. Zwischen diesem Teil der Energie und dem Strahlungsinhalt des Systems findet ein fortwährender Austausch statt, und zwar wird jede „Energieportion" ε durchschnittlich $\frac{2}{\tau}$-mal in der Sekunde umgesetzt werden. (*Zwei*mal $\frac{1}{\tau}$, weil den spontanen Rückfällen ebenso viele „induzierte" Hebungen entsprechen müssen; von den *induzierten* Rückfällen sehen wir ab.) Jedes angeregte Atom gibt also ungefähr 10^8 mal pro Sekunde zu einer Energie*abweichung* von der durchschnittlichen Größe ε Anlaß! Bei flüchtiger Überlegung erscheint es unvermeidlich, daß unser Körper schon in Bruchteilen einer Sekunde sehr beträchtliche, völlig unregelmäßige Änderungen seines Energieinhaltes erleiden müsse. Denn er scheint einem Manne zu gleichen, der in rascher Folge immer aufs neue große Teile seines Vermögens in Hasardspiel einsetzt — wenn auch in einem *gerechten*, d. h. bei gleichen Gewinn- und Verlustchancen.

Aber gerade dieser Vergleich löst die Schwierigkeit. Denken wir einen Mann, der ein Vermögen von 10 000 Goldmark oder 10^{10} Papiermark besitzt. Er setze sein *ganzes* Vermögen auf einmal aufs Spiel, jedoch *in einzelnen Papiermarkscheinen, jeden Schein auf eine andere Karte* und bei völlig gleicher Chance, ihn zu verlieren oder einen anderen dazu zu gewinnen. Trotzdem der Mann voll und wirklich sein ganzes Vermögen einsetzt, läuft er doch nur ein ganz geringes Risiko, bei ebenso winzigen Gewinnchancen. Denn er wird *sehr genau* bei der Hälfte der 10^{10} Spiele verlieren, und die Wahrscheinlichkeitsrechnung präzisiert dieses „Sehr genau "dahin, daß die Wahrscheinlichkeit eines Gewinn- oder Verlust*überschusses* von erheblich mehr als einigen 10^5 $(= \sqrt{10^{10}})$ Einzelspielen ganz verschwindend klein ist. Mit einer an Sicherheit grenzenden Wahrscheinlichkeit wird die gesamte Vermögensänderung einige hundert Millionen Papiermark, d. h. einige Hundertel Goldpfennige nicht wesentlich übersteigen. Wiederholt unser Mann die Spielreihe oftmals, jedesmal, wie wir sahen, mit einer Gewinn- und Verlustchance von etwa 10^5 Papiermark, so würde er natürlich wiederum im Irrtum sein, wenn er damit rechnete, daß nun aber doch 10^5 *solcher Spielreihen* eine erhebliche Änderung seines Vermögens herbeiführen dürften. Denn nach demselben Gesetz werden sich die Erfolge der Spiel*reihen* größtenteils kompensieren und nur einen Überschuß oder Verlust in der Größenordnung $10^5 \cdot \sqrt{10^5} = 10^{12}$ Papiermark = 1 Goldmark ergeben. Erst 10^{10} Spiel*reihen* (à 10^{10} Einzelspiele) würden mit erheblicher Wahrscheinlichkeit eine *erhebliche* Vermögensänderung bewirken!

Sehen wir nun nach, wie in der Natur die Zahlenverhältnisse wirklich liegen. Wir wollen einen relativ „gefährlichen" Fall betrachten,

d. h. einen, der zu relativ großen wahren Energieschwankungen führt. Dazu muß vor allem die Temperatur hoch genug sein, damit Anregungszustände mit raschem Energieumsatz in merklicher Menge vorkommen. Nehmen wir die Anregungsenergie gleich der Energiedifferenz der roten Wasserstofflinie ($\varepsilon = 3 \cdot 10^{-12}$ erg), so muß die Temperatur T etwa 3000° betragen (kT/ε wird dann gleich 1,3). Ein *Grammatom* könnte dann ganz gut den Energiebetrag $\frac{1}{2}RT$ (= Energie eines halbbeteiligten Freiheitsgrades) in solcher Form enthalten, und es ist nicht unvernünftig, die Häufigkeit des Umsatzes $\left(\frac{2}{\tau}\right)$ aus der von W. WIEN bei den Wasserstofflinien gemessenen Verweilzeit $\tau = 2 \cdot 10^{-8}$ sec abzuschätzen. Die Zahl der jeweils angeregten Atome ist

$$\frac{RT}{2\varepsilon}.$$

Die Gesamtzahl der Atomübergänge (Rückfälle *und* Hübe) ist also

$$\frac{RT}{\varepsilon\tau}.$$

Jeder verursacht im Mittel den „Energiefehler" ε. Das gibt, nach dem „Quadratwurzelgesetz", für die gesamte wahre Energieschwankung pro Sekunde

$$\Delta_w(\text{Sek}) = \varepsilon\sqrt{\frac{RT}{\varepsilon\tau}} = \sqrt{\frac{\varepsilon RT}{\tau}}. \qquad (1)$$

Mit $RT = 8{,}3 \cdot 10^7 \cdot 3000 = 2{,}5 \cdot 10^{11}$ erg und obigen Zahlwerten für ε und τ ergibt sich

$$\Delta_w(\text{Sek}) = 1900 \text{ erg} = 4{,}5 \cdot 10^{-5} \text{ cal}.$$

Es ist von Interesse, diese „wahre" Energieschwankung des isolierten Systems mit den wohlbekannten Energieschwankungen zu vergleichen, die unser System auch nach der alten Auffassung in einem *Wärmebad* zeigen würde — wir wollen sie zum Unterschied Austauschschwankungen nennen. Die kleinen Unregelmäßigkeiten im Energieaustausch des Systems mit dem Wärmebad haben eine mittlere Abweichung der Systemenergie von ihrem Mittelwert zur Folge im Betrage

$$\Delta_a = \sqrt{kT \cdot CT}. \qquad (2)$$

Hier ist k die Boltzmannkonstante, C die *Wärmekapazität* des Systems. Vergleichen wir dies mit (1), so ist einmal kT nach unseren Annahmen von der Größenordnung von ε, und C ist sicherlich von der Größenordnung R (obgleich *größer* als $\frac{3R}{2}$, weil ja nach Voraussetzung innere Freiheitsgrade des Atoms schon merklich am Wärmeinhalt teilhaben). Einen Unterschied in der *Größenordnung* bewirkt lediglich der Nenner $\sqrt{\tau}$ in Δ_w. Die *sekundliche* wahre Schwankung ist also in unserem Falle einige tausendmal so groß wie die *mittlere* Austauschschwankung. Die Bedeutung des Nenners $\sqrt{\tau}$ liegt aber weniger darin, daß τ eine *kleine* Zahl ist. Das ist ein zufälliger Umstand, durch die Wahl der Zeiteinheit bedingt. Aber dieser Nenner gemahnt uns, daß Δ_w von einer anderen physikalischen Dimension ist als Δ_a, nämlich erg sec$^{-\frac{1}{2}}$, nicht erg. Die wahre Schwankung *wächst mit der Quadratwurzel aus der Beobachtungszeit*, sie würde z. B. in unserem Falle für ein *Jahr* ($3{,}15 \cdot 10^7$ sec) betragen

$$\Delta_w(\text{Jahr}) = 0{,}25 \text{ cal}. \qquad (3)$$

Ihr Verhältnis zur Austauschschwankung wird besser *so* bezeichnet: die wahre Schwankung erreicht den Wert der Austauschschwankung schon etwa nach *einer* mittleren Verweilzeit.

Trotzalledem widersprechen die an und für sich ja gar nicht so geringfügigen Schwankungsbeträge (1) bzw. (3) wohl kaum der vorliegenden Erfahrung und es würde nicht leicht sein, sie experimentell zu fassen. Die Schwierigkeit liegt in der thermischen Isolation des schwankenden Systems, besonders bei so hoher Temperatur. Hohe Temperatur aber ist, wie gesagt, erforderlich, um Freiheitsgrade mit so raschem Energieumsatz merklich am Energieinhalt zu beteiligen.

Besser als der Absolutbetrag der Schwankung läßt sein Verhältnis zur gesamten „schwankenden" Energiemenge (die wir $= RT/2$ angenommen haben) die Erheblichkeit bzw. Unerheblichkeit des Phänomens hervortreten. Dividieren wir (1) durch $RT/2$ so erhalten wir

$$\Delta_{\text{rel}}(\text{sec}) = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{RT\tau}} = 1{,}5 \cdot 10^{-8} \qquad (4)$$

im durchgerechneten Fall. Für ein Jahr ergibt sich

$$\Delta_{\text{rel}}(\text{Jahr}) = 0{,}87 \cdot 10^{-4}.$$

Aus dem Auftreten von RT im Nenner erkennt man (was von den Austauschschwankungen her wohlbekannt ist), daß die *relativen* Schwankungen auch hier mit der Quadratwurzel aus der schwankenden Energiemenge, daher cet. par. mit der Wurzel aus der *Masse* des Systems *umgekehrt* proportional sind. Durch Verkleinerung des isolierten Systems ließen sich also für die relative Schwankung sehr erhebliche Beträge erzielen — was kein Wunder ist, erreicht sie doch für das isolierte *Atom* schon in der Zeit τ den Wert 1! Aber natürlich wächst schon viel früher die Schwierigkeit der Wärmeisolation bis zur Unmöglichkeit.

Von sehr großem Einfluß muß die *Frequenz* der Strahlung sein, um deren Anregungsenergie es sich handelt. Betrachten wir ihren Einfluß auf die relative Schwankung nach (4). ε/RT dürfen wir als unabhängig von der Frequenz ansehen, wenn wir die Temperatur immer nur gerade hoch genug wählen, um den betreffenden Freiheitsgrad schon merklich am Wärmegleichgewicht zu beteiligen. Dagegen ändert sich die mittlere Verweilzeit τ sicherlich stark mit der Frequenz. Nach der klassischen Theorie wäre sie mit dem Quadrat der Frequenz umgekehrt proportional. Daß dies größenordnungsmäßig wirklich zutrifft, darf man für ausgemacht halten nach dem Gesichtspunkt der *Korrespondenz*, der dadurch bestätigt wird, daß die klassische Theorie im optischen Gebiet, wo wir τ aus den Versuchen von W. WIEN kennen, die richtige Größenordnung trifft (man müßte diese

Übereinstimmung sonst für einen Zufall halten). Demnach wäre die *relative Schwankung mit der Frequenz proportional*. Wenn wir also in unserem Beispiel die Frequenz der H_α-Linie (Wellenlänge 6563 Å) mit der Frequenz harter Röntgenstrahlen vertauschen (Wellenlänge 0,2 Å., Frequenzverhältnis $\sim 3 \cdot 10^4$), kommen wir auf eine Relativschwankung von $^1/_2$ Promille in der Sekunde; 100% würden in einigen Monaten erreicht. Die zugehörige Temperatur ist von der Größenordnung hundert Millionen Grad. Man sieht, daß eine erhebliche Undefiniertheit des Temperaturbegriffes erst bei Temperaturen eintritt, denen praktisch keine Bedeutung zukommt.

Ohne einer genaueren Durchrechnung in besonderen Fällen oder einer geistvollen experimentellen Methode, die jemand ersinnen könnte, vorzugreifen, dürfen wir also wohl als beruhigendes Resultat unserer ersten rohen Abschätzung feststellen, daß die neue Auffassung der Strahlungsvorgänge von dieser Seite her nicht im Widerspruch steht mit der bisherigen Erfahrung.

Gleichwohl kommt ohne Zweifel der Folgerung, daß der *Energiesatz* kein exaktes Naturgesetz sein soll, eine große prinzipielle Bedeutung zu, trotz der Geringfügigkeit der beobachtbaren Abweichungen. Er würde dadurch vollkommen in eine Linie rücken mit dem *Entropiesatz*, eine Ansicht, zu welcher FRANZ EXNER[1]) vor einigen Jahren aus ganz anderen, mehr philosophischen Gesichtspunkten geführt wurde[2]). Diese Erkenntnis hätte noch sehr viel tiefergehende theoretische Folgen als seinerzeit die gleiche Erkenntnis beim Entropiesatz. Daß der Entropiesatz ein bloßes Wahrscheinlichkeitsgesetz ist, nimmt zwar allen Aussagen über das Verhalten eines Systems im Zustande des thermodynamischen Gleichgewichts *in jedem Augenblick* ihren apodiktischen Charakter und läßt gewisse kleine Abweichungen *in jedem Augenblick* erwarten, und beliebig große Abweichungen mit Sicherheit im Verlauf genügend langer Beobachtungszeiten. Gleichwohl behalten die Aussagen der Thermodynamik vollkommen *exakte* Gültigkeit, wenn man sie als Aussagen über das mittlere oder *durchschnittliche* Verhalten eines *abgeschlossenen* Systems in hinreichend langen Beobachtungszeiten auffaßt — in aller Strenge für limes Beobachtungszeit $= \infty$. Das System *umspielt* immer einen mittleren Zustand und dieser ist es, den die Thermodynamik exakt angibt.

Ganz anders verhält es sich, wenn die EXNER-BOHRsche Auffassung vom Energiesatz zutrifft. Ein *abgeschlossenes* System zeigt dann nur für relativ *kurze* Zeiten *angenähert* ein bestimmtes mittleres Verhalten. Im limes $t = \infty$ wird sein Verhalten *völlig unbestimmt*, weil sein *Energieinhalt* sich in offener Streugarbe nach einem $\sqrt{t}$-Gesetz vom Ausgangswert entfernt. Wir können die Streuung nur herabdrücken, indem wir den *Umfang* des Systems vergrößern, oder es als Teilsystem eines umfangreicheren Systems betrachten („Wärmebad"). Die *exakte* Gültigkeit der Thermodynamik läßt sich jetzt höchstens vielleicht noch behaupten für ein System im Wärmebad, und zwar beim doppelten Grenzübergang „limes Wärmebad $= \infty$" *und* „limes $t = \infty$". Doch bietet dieser doppelte Grenzübergang viel größere begriffliche Schwierigkeiten dar als früher der einfache.

Man kann auch so sagen: eine gewisse Stabilität des Weltgeschehens sub specie aeternitatis kann nur bestehen durch den *Zusammenhang* jedes Einzelsystems mit der ganzen übrigen Welt. Das abgetrennte Einzelsystem wäre, unter dem Gesichtspunkte der Einigkeit, Chaos. Es bedarf des Zusammenhanges als fortdauerndes *Regulativ*, ohne welches es, in energetischer Beziehung, planlos umherirren würde. — Ist es müßiges Gedankenspiel, wenn man dabei die Ähnlichkeit mit sozialen, ethischen, kulturellen Erscheinungen sich in den Sinn kommen läßt?

[1]) F. EXNER, l. c.

[2]) Verfasser hat EXNERS Standpunkt in seiner (ungedruckten) Züricher Antrittsrede am 9. XII. 1922 zu dem seinen gemacht.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

Optische Dubletts und Röntgendubletts.

In einigen in letzter Zeit erschienenen Arbeiten hat LANDÉ[1]) die enge Analogie, die zwischen den optischen Dubletts einerseits und den Röntgendubletts andererseits existiert, hervorgehoben. Die optischen Dubletts lassen sich genau so wie die Röntgendubletts formal mittels SOMMERFELDS Formel für die relativistische Feinstruktur berechnen, ein tieferes theoretisches Verständnis für diese Eigentümlichkeit fehlt in den beiden Fällen[2]).

Die weitgehende Analogie der Röntgenterme zu den optischen Dublettermen kommt nach LANDÉ in folgender Tabelle scharf zum Ausdruck:

Röntgenterm	K	L_I	L_{II}	L_{III}	M_I	M_{II}	M_{III}	M_{IV}	M_V
N_{kj}	1_{11}	2_{11}	2_{21}	2_{22}	3_{11}	3_{21}	3_{22}	3_{32}	3_{33}
Dubletterm	$1\,s$	$2\,s$	$2\,p_2$	$2\,p_1$	$3\,s$	$3\,p_2$	$3\,p_1$	$3\,d_2$	$3\,d_1$

Obwohl die Erkenntnis dieser in obiger Tabelle formulierten Analogie zweifelsohne einen Schritt vorwärts bedeutet in der Entwirrung der Rätsel, welche die Spektren für uns verbergen[1]), scheint es mir doch im augenblicklichen Stand des Problems seinen Wert zu haben, noch einmal den wesentlichen Unterschied zwischen den optischen Termen und den Röntgentermen hervorzuheben.

Die optischen Terme[2]) charakterisieren die Energie-

[1]) A. LANDÉ, Zeitschr. f. Physik **16**, 391. 1923; **24**, 88. 1924; **25**, 46. 1924.

[2]) N. BOHR und D. COSTER, Zeitschr. f. Physik **12**, 342. 1923. — A. LANDÉ l. c.

[1]) Vgl. z. B. den Nutzen, den MILLIKAN bei der Identifizierung der extremultravioletten Spektrallinien aus der Erkenntnis dieser Analogie gezogen hat.

[2]) Mit *optischen* Termen sind hier überall die *negativen* Termwerte gemeint. Diese sind der Energie des Atoms im s-, p- usw. Zustand gleich zu setzen.

zustände des angeregten Atoms, wo ein Elektron: das optische Elektron, sich in einer Bahn befindet, die im allgemeinen im normalen Zustand des Atoms unbesetzt ist; die Röntgenterme charakterisieren die Energiezustände des angeregten Atoms, wo in einer sonst völlig besetzten Untergruppe ein Elektron fehlt. Diese grundsätzlich verschiedene Bedeutung der optischen Terme und Röntgenterme kommt z. B. in LANDÉS Tabelle (s. oben) dadurch zum Ausdruck, daß, wenn man die Tabelle von links nach rechts liest, die aufeinanderfolgenden Röntgenterme abnehmen, während die optischen Terme in derselben Richtung zunehmen. So wird z. B. die Ka_1-Linie der Röntgenserien nach der alten Bohrschen Auffassung emittiert, wenn das Atom, das ursprünglich sich im K-Zustand befindet, nach dem L_{III}-Zustand übergeht, während die entsprechende optische Linie bei einem Übergang von dem $2\,p_1$- zu dem $1\,s$-Zustand ausgesandt wird. Nach der neuen Auffassung[1]) wird die Ka_1-Linie emittiert vom Atome im K-Zustand, die entsprechende optische Linie hingegen von einem Atome in dem Zustande $2\,p_1$. Daß man also, sowohl was Abklingungszeit als relative Intensität der Spektrallinien betrifft, durch die oben besprochene Analogie leicht zu Fehlschlüssen kommen kann, ist ohne weiteres deutlich. Aber eine nähere Diskussion zeigt, daß das Landésche Schema auch noch in einer anderen Hinsicht irreführend sein kann.

Bei den optischen Termen hängt die Duplizität zusammen mit den zwei verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten des springenden Elektrons zu dem Atomrest (Zweiwertigkeit der Quantenzahl, die den totalen Impuls des Atoms bestimmt), die Multiplizität der Röntgenterme hingegen wird nach der Bohrschen Auffassung zum Teil verursacht durch die verschiedenartige Einstellung der *übrigen* Elektronen einer bestimmten Untergruppe, wenn ein Elektron daraus entfernt wird. Während also im optischen Fall im allgemeinen nur ein Elektron: das springende Elektron, seinen Bewegungszustand essentiell ändert, sind es im Röntgengebiet mehr als ein Elektron, die ihren Bewegungszustand ändern.

Dieser Unterschied findet einen scharfen Ausdruck in der Landéschen modellmäßigen Deutung der Röntgenterme. Nach LANDÉ kann man z. B. das Auftreten der 2 Röntgenterme L_{II}, L_{III}[2]) in dieser Weise deuten: Die zwei durch diese Terme charakterisierten Energiezustände entstehen beide, wenn ein Elektron aus der 2_2 Untergruppe entfernt wird. Die drei übrigbleibenden Elektronen dieser Untergruppe verteilen sich in einer „Heliumkonfiguration" von 2 Elektronen und einem einzelnen Elektron, „das Röntgenleuchtelektron", das wegen seiner 2 Einstellungsmöglichkeiten Anlaß gibt zu der Duplizität L_{II}, L_{III}. Die modellmäßige Analogie besteht hier also nicht zwischen springendem Elektron der Röntgenserien und springendem Elektron im optischen Gebiet, sondern zwischen sog. „Röntgenleuchtelektron" und springendem Elektron im optischen. Bei der Emission einer Röntgenlinie hat man also nicht allein zu betrachten die Änderungen, die mit dem springenden Elektron stattfinden, sondern auch die Einstellungsmöglichkeiten des „Röntgenleuchtelektrons", des Anfangszustandes sowie desjenigen des Endzustandes. Man kann also nicht von vornherein erwarten, daß dieselben Auswahlregeln des optischen Gebietes (untere Zeile der Tabelle) ohne weiteres auch auf dem Röntgengebiet (obere Zeile der Tabelle) angewandt werden können. Es ist uns jetzt jedenfalls ein Beispiel bekannt, wo die Analogie sicher versagt: im Röntgengebiet darf die Hauptquantenzahl n *nicht* konstant bleiben[1]); eine analoge Auswahlregel gilt für das optische Gebiet nicht.

Haarlem, den 22. Juli 1924. D. COSTER.

[1]) N. BOHR, H. A. KRAMERS und J. C. SLATER, Zeitschr. f. Physik **24**, 69. 1924.

[2]) Nebenbei sei bemerkt, daß auch hier die Reihenfolge, was die Größe betrifft, gerade umgekehrt ist als bei den optischen Termen $2\,p_2$ und $2\,p_1$ im Alkalispektrum.

Die wichtigen Bemerkungen von Herrn COSTER kann man sich vielleicht — wenigstens soweit sie das von Herrn LANDÉ angedeutete Modell betreffen — besonders bequem an Hand der folgenden Symbolik verdeutlichen:

$$K = [-1_1 - 1_1 + 1'_1 + \infty]$$
$$L_I = [-2_1 - 2_1 + 2'_1 + \infty]$$
$$L_{II} = [-2_2 - 2_2 + 2'_2 + \infty]\ L_{III} = [-2_2 - 2_2 + 2''_2 + \infty]$$
$$M_I = [-3_1 - 3_1 + 3'_1 + \infty]$$
$$M_{II} = [-3_2 - 3_2 + 3'_2 + \infty]\ M_{III} = [-3_2 - 3_2 + 3''_2 + \infty]$$
$$M_{IV} = [-3_3 - 3_3 + 3'_3 + \infty]\ M_V = [-3_3 - 3_3 + 3''_3 + \infty]$$

usw. Hierbei besagt z. B. das Symbol für L_{III} im Sinne des Modells von LANDÉ: 2 von den 4 Elektronen, die im Normalzustand die 2_2-Gruppe bilden sind aus ihr weggenommen, eines davon ist nach ∞ weggeschafft das andere als „Röntgen-Leucht-Elektron" auf eine Bahn $2''_2$ gebracht (bei L_{II} auf eine Bahn $2'_2$). Diese Symbole bringen zum Ausdruck: 1. die Zuordnung der *Dublette* $L_{III} - L_{II} \to 2''_2 - 2'_2$, $M_{III} - M_{II} \to 3''_2 - 3'_2$ usw., hingegen auch 2. die Unvollkommenheit der *Niveau*zuordnungen: $L_I \to 2'_1$, $L_{II} \to 2'_2$, $L_{III} \to 2''_2$ usw., ja geradezu, wie Herr COSTER zeigt, ihre Gefährlichkeit, was Auswahlregel und Intensitätsfragen betrifft. Ein Röntgenniveau gehört eben zu einem viel komplexeren Anregungszustand des Atoms als ein optisches Niveau.

Leiden. P. EHRENFEST.

Experimentelle Untersuchungen über die Entfernungslokalisation bei Libellen.

Es existieren nur sehr spärliche, experimentelle Untersuchungen über das Entfernungsschätzungsvermögen der Insekten. Unsere Auffassungen von diesem Problem basieren daher zum überwiegenden Teil auf theoretischen Überlegungen. Wir wissen, daß der Mensch die Entfernung vor allem mit Hilfe des *binokularen* Sehens schätzt: auf Grund der Verschiedenheit der Netzhautbilder in beiden Augen (stereoskopisches Sehen), der Querdisparation, d. h. Reizung nicht entsprechender Netzhautstellen in beiden Augen durch ein Objekt und der Konvergenz der beiden Sehachsen. Dazu kommen noch Momente des *monokularen* Sehens: die scheinbare Größe der Objekte, das Gefühl für den Grad der Anstrengung des Akkommodationsmuskels, die Deutlichkeit der Objekte, die scheinbare Verschiebung der Objekte bei Bewegungen des Kopfes und unter Umständen noch die Verteilung von Licht und Schatten und die Luftperspektive. Von diesen für den Menschen vorhandenen Möglichkeiten der Entfernungslokalisation scheiden für die Insekten diejenigen aus, die auf Konvergenz- und Akkommodationseinrichtungen beruhen, da wir diese bei den Insekten nicht finden. Die Frage ist nun: Besitzen die Insekten eine monokulare oder eine binokulare Möglichkeit der Entfernungslokalisation? Zur Entscheidung dieser Frage wurden einseitig geblendete Libellenlarven (Aechna cyanea) in ihrem Verhalten gegenüber Beutestücken untersucht. Während das

[1]) D. COSTER, Phil. Mag. **43**, 1070. 1922.

normale Tier an bewegte kleinere Objekte (gleichgültig welcher Form und Natur, also Fliegen, Papierblättchen, Plastilinastückchen usw.) heranschwimmt, *in Reichweite* die zu einem Greiforgan umgebildete Unterlippe vorschleudert und das Objekt — selten nach Fehlschnappen — ergreift, schnappt die einseitig geblendete Larve auf Gegenstände von der Größe einer Fliege bereits aus etwa 5 cm Entfernung, während die Reichweite ca. 1 cm beträgt, größere Objekte (etwa 2 × 4 cm) lösen den Schnappreflex schon in 10—25 cm Entfernung aus, noch größere (etwa 9 × 12 cm) in 40—50 cm und 30 × 40 cm große Objekte in 1—1½ m. Diese Zahlen sollen nur annähernd eine Vorstellung von dem Verhalten der Tiere geben, denn es kommen hier innerhalb gewisser Grenzen durch den jeweiligen physiologischen (z. B. Hunger-)Zustand der Tiere bedingte Verschiedenheiten im Verhalten vor, die eine genaue Bestimmung der Abhängigkeit des Schnappreflexes von der Größe und der Entfernung der Objekte nicht zulassen. Jedenfalls aber geht aus den Versuchen mit aller wünschenswerten Deutlichkeit hervor, daß die Tiere, des *binokularen* Sehens beraubt, *in der Entfernungslokalisation gestört sind* und daß für sie nunmehr die *scheinbare Größe der Objekte ein* allerdings oft trügerisches *Ersatzmittel der Entfernungslokalisation bedeutet*. Es sei betont, daß bei ebenso ausgedehnten Versuchen mit durchweg hungriger gehaltenen normalen Kontrolltieren niemals solche Reaktionen erhalten wurden. Weitere Versuche zeigten nun, daß die Tiere, wohl wenn sie durch geringeren Hunger weniger in Erregung sind, doch noch einen Unterschied zwischen großen fernen und kleinen nahen Objekten zu machen vermögen. Sie reagierten dann auf große ferne Objekte entweder gar nicht oder doch wesentlich zögernder als auf kleine nahe. Und es konnte gezeigt werden, daß diese Tiere dann in einer Nahzone von etwa 5 cm besonders heftig auf Objekte reagierten. In einzelnen Fällen gingen sie sogar bis in Reichweite an die Objekte heran. Mithin muß hier noch außer der scheinbaren Größe der Objekte ein weiteres Moment der Entfernungslokalisation hinzukommen. Hierfür kommen zunächst alle oben als im monokularen Sehen vorkommend erwähnten Möglichkeiten außer der Akkommodation in Betracht. Von diesen ist die Luftperspektive nur für größere Entfernungen brauchbar und der Verteilung von Licht und Schatten kann ebenfalls nur eine ganz minimale Bedeutung zukommen. Eine scheinbare Verschiebung der Objekte durch Bewegungen des Kopfes kommt bei den Larven infolge ihrer geringen Bewegungen nicht in Betracht, wohl aber könnte — was auf dasselbe herauskommt — die verschiedene Winkelgeschwindigkeit der Objekte eine Rolle spielen. Dahin gehende Versuche ergaben jedoch keinen Anhaltspunkt für diese Annahme. Somit bliebe nur noch die mit zunehmender Entfernung abnehmende Deutlichkeit der Objekte übrig. Dafür spricht außer der starken Reaktion in der Nahzone auch ein Versuch mit einer Imago von Libellula sp., die, einseitig geblendet, auf einem mit Königskerzen bestandenem Acker in der Höhe der Pflanzen Kreise nach der ungeblendeten Seite beschrieb. Sobald dieses Tier zufällig etwa in 5 cm Entfernung an einer Königskerze vorbeiflog, stoppte sie den Flug ab, beschrieb einen Kreis um die Pflanze und setzte sich auf *die* Seite der Pflanze, die der ursprünglichen Flugrichtung zugekehrt war. Dies machte durchaus den Eindruck, daß sie erst dann die Pflanze anflog, als diese mit der notwendigen Deutlichkeit in ihrem Gesichtskreis aufgetaucht war und dieses Anfliegen war dann nur durch Beschreiben des kleinen Kreises um die Pflanze möglich. Gegen diese Annahme des schärferen Sehens in der Nähe spricht die aus Berechnungen hergeleitete Ansicht (Best), daß die Insekten nicht in der Ferne unscharf sähen, sondern nur weniger Einzelheiten erkennen könnten. Obwohl diese Auffassung nicht *beweisend* ist, so müssen wir es doch dahingestellt sein lassen, ob hier unter „Deutlichkeit" mehr oder minder große Unschärfe, wie das z. B. auch Forel annimmt, oder mit Best nur mehr oder minder große Erkennungsmöglichkeit von Einzelheiten verstanden werden soll. Evtl. kann auch, im Anschluß an Chun, die Größe der Zerstreuungskreise mit als Erklärungsmöglichkeit herangezogen werden, jedoch würde eine genauere Erörterung dieses Problems hier zu weit führen. Taktile Reize spielen bei Aeschnalarven im Gegensatz zu den von Alverdes bei Agrionlarven festgestellten Verhältnissen nur eine untergeordnete Rolle gegenüber den optischen Reizen. Wir können also nach diesen Versuchen als experimentell *bewiesen* annehmen, daß die Libellen der Gattung Aeschna und wohl auch Libellula über eine *binokulare Entfernungslokalisation* verfügen und daß als Ersatzmittel für diese die *scheinbare Größe der Objekte* eine Rolle spielt, daß aber außerdem noch andere Ersatzmittel vorhanden sein müssen, und zwar *vermutlich* noch *die mit zunehmender Entfernung abnehmende Deutlichkeit der Objekte*.

Heidelberg, den 29. Juli 1924. K. Baldus.

Die Spiralfeder.

Herr Dr. Sonnefeld (Zeiss-Werke Jena) macht darauf aufmerksam, daß im wissenschaftlichen wie im technischen Sprachgebrauch das Wort „Spirale" oft unrichtig verwendet wird. Kennzeichnend für den Spiralcharakter einer Kurve ist ihre Polflucht, und die einfachste Spirale ist die ebene archimedische Spirale. Alle Kurvenzüge, die keine Polflucht aufweisen, sind streng als „Schraubenlinien" zu bezeichnen. Die einfachste Schraubenlinie ist die auf einem Zylindermantel mit konstanter Steilheit aufsteigende Linie. Demgemäß sind die stets als „Glühspiralen" bezeichneten Drahtkörper der Beleuchtungstechnik typische Schraubengebilde, wie auch die Gänge des „Spiralbohrers" auf dem weitaus größten Teile des zylindrischen Bohrkörpers Schraubenlinien sind. Der in der Technik häufig gebrauchte Ausdruck „zylindrische Spirale" ist eine sprachliche Ungenauigkeit, ganz besonders auch die Bezeichnung „Spiralbohrer".

Biologische Mitteilungen.

Die Chemotaxis der Spermatozoen und die Zweifel an ihrem Vorkommen im Tierreich. (William J. Dakin und M. G. C. Fordham, Brit. journ. of exp. biol. Bd. 1, Nr. 2, S. 183—200. 1924.) Während Loeb und Buller bei Echinodermen keine Chemotaxis der Samenfäden finden konnten und daraufhin das Vorkommen von Spermatozoenchemotaxis für das ganze Tierreich abzulehnen geneigt waren, sprachen sich Lillie und de Meyer für ihre Existenz aus, ohne jedoch bündige Beweise beizubringen. Die Verff. arbeiteten ebenfalls mit Echinodermen. Während die Methode der Spermatozoenzählung in gleichen Volumina Wasser, die einer Spermiensuspension nah und fern von einem Beutelchen mit Eiern entnommen

wurden, wegen der störenden Zusammenklumpungen der Spermien völlig versagte, brachte PFEFFERS klassische Capillarenmethode einen vollen Erfolg. In eine Petrischale mit der Spermatozoensuspension wurden mehrere einseitig verschlossene Capillarröhrchen von meist 0,5—0,7 mm Durchmesser eingelegt; einige waren mit Kontrollflüssigkeiten (normales Seewasser, Leibeshöhlenflüssigkeit männlicher oder weiblicher Tiere u. a.), andere mit „Eiwasser" gefüllt, d. h. mit Seewasser, das längere Zeit über unverletzten oder zerquetschten Eiern der Species gestanden hatte, die auch die Samenfäden lieferte. In sämtlichen Versuchen wiesen nach genügend langer Zeit ($^1/_4$—$1^1/_2$ Stunden) die Eiwasserröhrchen wesentlich stärkeren Besuch auf als die Kontrollröhrchen, und die Samenfäden waren in den Eiwasserröhrchen weiter vorgedrungen als im normalen Seewasser. Freilich gilt das Gesagte nicht ausnahmslos; nicht selten zeigte sich kein Unterschied zwischen Eiwasser- und Kontrollröhrchen; niemals aber hatte die Kontrolle stärkeren Besuch als das Eiwasserröhrchen. Die Versuche wurden mit Echinus esculentus-Sperma und -Eiern ausgeführt; dagegen bevorzugten die Echinusspermien Echinocardiumeiwasser nicht. Eiwasser von zerquetschten Eiern sammelte die Spermien besser als solches von unverletzten Eiern. — Es fragt sich nun, ob der Spermienüberschuß im Eiwasserröhrchen auf einer wirklichen Anziehung der Samenfäden durch das Eiwasser, also auf positiver Chemotaxis beruht, oder ob vielleicht nur passiv zustande gekommene Ansammlungen vorliegen, indem das nachweislich die Bewegungen verlangsamende Eiwasser, das auch aggregierende und agglutinierende Wirkungen ausübt, die Rolle einer Falle spielt: In der Zeiteinheit würden ins Eiwasser- und das Normalrohr gleich viele Spermien gehen, aus dem Wasserröhrchen aber nur wenige wieder herauskommen. Röhrchen mit Agentien, die in ähnlicher Weise die freie Beweglichkeit herabsetzten, hatten nun teils geringeren (KCN), teils ebenso starken (HCl, S. 192), teils auch stärkeren Besuch (Chinin, HCl, S. 198) als die Kontrollröhrchen mit normalem Wasser, stets aber weit geringeren als die Eiwasserröhrchen. Am stärksten von allen aber waren Eiwasserröhrchen mit einem kleinen Zusatz von HCl besucht, wie auch die beigegebenen Photographien zeigen. Es ist demnach sehr wahrscheinlich, daß die die freie Beweglichkeit herabsetzende Wirkung des Eiwassers zwar bei der Bildung der Ansammlungen in den Eiwasserröhrchen mitspielt, daß diese also teilweise als passiv zustande gekommen gelten dürfen; doch ist das sicher nicht die einzige Ursache. Auch die Wasserstoffionenkonzentration, die durch die Vorgänge bei Herstellung des Eiwassers sich etwas ändert, kann die Ansammlungen nicht erklären. Sie betrug bei normalem Seewasser 8,1, bei Eiwasser 7,8. Seewasser von 6,5—8,8 mit sehr zahlreichen Zwischenstufen wurde weit weniger gut besucht als normales Seewasser von 8,1, wobei Erhöhung der Wasserstoffionenkonzentration stärker abzustoßen schien als Erniedrigung. Es muß also dem Eiwasser eine anziehende Wirkung auf die Samenfäden zugeschrieben werden, und zwar, soweit die bisherigen Erfahrungen reichen, eine artspezifisch begrenzte. Damit wäre das Vorkommen von chemotaktischer Anlockung tierischer Samenfäden durch Eisekrete erstmalig bewiesen. Verallgemeinerungen sind noch nicht am Platze. Eine geringe Anzahl von Versuchen mit Teredo verlief ergebnislos. (Ber. üb. d. ges. Physiol. u. experim. Pathol. Bd. XXV.) O. KOEHLER.

„Elektrosymbiose" zwischen grünen Algen und Eisenbakterien. In eisenhaltigen Wässern findet man nicht selten Fadenalgen (besonders aus der Confervа-Gattung), die an ihrer Oberfläche mit rundlichen bis zylindrischen Gebilden bedeckt sind, die von gallertiger Beschaffenheit und infolge Ablagerung von Eisenoxydhydrat gelb bis braun gefärbt sind. Unter dem Mikroskop erscheint der grüne Algenfaden wie mit gelbbraunen Perlen aufgereiht. Erst durch die neueren Untersuchungen von CHOLODNYJ[1]) ist es gelungen, die Natur dieser sonst schon in der algologischen Literatur unter dem Namen „Psichohormium-Bildungen" bekannten Knöllchen zu enträtseln. Glaubte man bis jetzt, daß die Psichohormien von der Algenzelle gebildet werden, so konnte es CHOLODNYJ wahrscheinlich machen, daß diese Gebilde keine Verdickungen der Zellmembranen der Algen darstellen, sondern daß ihre Entstehung der Lebenstätigkeit einer besonderen Eisenbakterienart, Sideromonas Confervarum, zuzuschreiben ist. Präparate, die mit Formaldehydlösung und Salzsäure behandelt und mit Gentianaviolett oder Karbolfuchsin gefärbt sind, zeigen in der Gallerte kettenförmig angeordnete Bakterien, deren jedes eine Länge von 0,8—0,9 μ und eine Breite von 0,5—0,6 μ besitzt. Die Sideromonas-Knöllchen finden sich auch hin und wieder an Oedogonium- und Mougeotia-Fäden. Bedeutungsvoll ist nun die Frage, welche Beziehungen bestehen zwischen den Algen und den Bakterien? Stellt Sideromonas eine einfache Epiphytenform dar, oder verhalten sich die Bakterien als Parasiten den Algen gegenüber, oder aber ist eine Symbiose verwirklicht? CHOLODNYJ glaubt, daß das letztere Verhältnis für die beiden Organismen zutrifft.

Welcher Vorteil besteht für die Eisenbakterien aus dem Zusammenleben? Alle Eisenbakterien bedürfen einer ständigen Zufuhr von Sauerstoff, um die Eisenoxydulin Eisenoxydverbindungen überzuführen. Die grünen Algenzellen spielen also infolge ihrer kräftigen Assimilationstätigkeit die Rolle von Sauerstoffbildnern und befriedigen so das hohe Bedürfnis der Bakterien nach O.

Wie verhält es sich nun mit dem Nutzen, den die Algen aus dem symbiotischen Verhältnis ziehen? Die von den Knöllchen umgebenen Algenzellen unterscheiden sich von den anderen Zellen desselben Fadens dadurch, daß sie einen dichteren, dunkelgrünen Inhalt und eine Anhäufung von Nahrungsstoffen besitzen. Sie weisen Merkmale auf, die für das Ruhestadium aller Algen charakteristisch sind. Die Bakterien beeinflussen also die Algenzellen derart, daß diese mit einer Vergrößerung ihres Chlorophyllapparates und einer Vermehrung ihrer Reservestoffe antworten. Wodurch die günstige Beeinflussung hervorgerufen wird, läßt sich nur vermuten. Vielleicht stellt die gallertige Knöllchenmasse eine Quelle für organische Verbindungen dar, aus der die Algenzellen schöpfen und die eigenen Assimilationsprodukte ergänzen.

Es ist nun interessant, daß ein anderer Forscher das Zusammenleben von Algen und Bakterien ebenfalls als Symbiose erkannt hat, aber mit dem Unterschiede, daß er den Vorteil der grünen Algen in einer ganz anderen Richtung zu finden glaubt. ULEHLA[2]) konnte zeigen, daß manche Algen außerordentlich empfindlich sind gegen Änderung der Wasserstoffionenkonzentration des umgebenden Wassers. Die Endzellen von

[1]) N. CHOLODNYJ, Über Eisenbakterien und ihre Beziehungen zu den Algen. Ber. d. dtsch. bot. Ges. 40, 326—346. 1922.

[2]) VLADIMIR ULEHLA, Über CO_2- und p_H-Regulation des Wassers durch einige Süßwasseralgen. Ber. d. dtsch. bot. Ges. 41, Generalversammlungsheft, S. 20 bis 31. 1923.

Cladophora-Fäden platzen augenblicklich, wenn sie in ein saures Medium überführt werden, indem der durch eine Zustandsänderung der Zellmembran infolge von H'-Ionen-Adsorption hervorgerufene Druck den Zellinhalt zum Ergießen bringt. Man kann in Hinsicht auf die von den Algen verlangte optimale [H']-Konzentration die grünen Algen in Gruppen einteilen. Cladophora, Enteromorpha, Chaetomorpha, Oedogonium kann man als „acidophob" bezeichnen, indem ihre optimale [H']-Konzentration um $p_H = 7{,}5 - 7{,}7$ liegt. Die „alkaliphoben" Desmidiaceen verlangen ein $p_H < 6{,}8$. Eine Mittelstellung nimmt Spirogyra mit einem Optimum von $p_H = 7{,}02 - 7{,}2$ ein. Deshalb finden sich die genannten Algenarten auch nur in solchen Gewässern, die eine ihnen genehme [H']-Konzentration konstant aufweisen. Oder aber sie besitzen Einrichtungen, mit Hilfe derer sie größere [H']-Schwankungen vertragen können. Das ist nun in der Tat bei den Algen verwirklicht, die mit „Psichohormien" besetzt sind. Oedogonium-Fäden mit „Psichohormien" vertrugen eine kräftige Säuerung von Leitungswasser mit CO_2, während beigemengte Cladophora-Fäden, welche nicht mit den Knöllchen der Eisenbakterien besetzt waren, platzten oder anderweitig zugrunde gingen. Im Dunkeln gehaltene Oedogonium-Fäden erhöhten infolge der Atmung die Kohlensäuremenge des Wassers, erhöhten aber auch das p_H des Wassers, machten es also alkalischer. Die Alge besaß ein Pufferungsvermögen. Das Pufferungssystem ist in den „Psichohormien" zu suchen. Die Schleimknöllchen enthalten Eisen- und Calciumcarbonat, die beide als Regulatoren wirken. Sobald der CO_2-Gehalt des Wassers steigt, wird eine entsprechende Menge der Carbonate als Bicarbonat aufgelöst, und die hydrolytisch freiwerdenden OH-Ionen drücken die [H'] wieder nieder. Das Puffersystem ist solange wirksam, bis das gesamte Carbonat aus dem Schleim herausgelöst ist. Für die Algen stellt also das Zusammenleben mit den Eisenbakterien eine Symbiose dar, die man als Elektrosymbiose bezeichnen könnte. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß sich auch sonst noch in der Pflanzenwelt solche lebenden Puffersysteme finden.

ALBERT PIETSCH.

Astronomische Mitteilungen.

Die Genauigkeit trigonometrischer Parallaxen. Eine Bemerkung NEWCOMBS hat E. B. WILSON und W. J. LUYTEN veranlaßt [1]) zu untersuchen, um wieviel der wirkliche wahrscheinliche Fehler den Wert des wahrscheinlichen Fehlers übersteigt, wie er sich aus den Abweichungen der einzelnen Messungen berechnen läßt. Untersucht wird dies bei trigonometrischen Parallaxen, die zu den genauesten Messungen der modernen Astronomie gehören.

Die Untersuchung ist möglich durch Vergleich zweier Reihen von Parallaxen; nur die Reihen von ALLEGHENY und Mc CORMICK enthalten eine genügende Anzahl gemeinsamer Sterne, um ein zuverlässiges Resultat geben zu können. Bildet man $\frac{d\pi}{r} = \alpha$, wo $d\pi$ = Parallaxe Allegh. — Parallaxe McCorm. und $r = \sqrt{r_A^2 + r_M^2}$, also der wahrscheinliche Fehler einer Parallaxendifferenz ist, so hat man, wenn der wirkliche wahrscheinliche Fehler übereinstimmt mit dem aus den Abweichungen der einzelnen Beobachtungen bestimmten Wert, für die α eine Verteilung nach einer Gaussschen Fehlerkurve zu erwarten. Der wahrscheinliche Fehler dieser Kurve müßte gleich 1,00 sein, d. h. 50% der α müßten zwischen $\pm$ 1 liegen.

Aus 237 Werten von α finden die Verfasser zwar eine völlige Übereinstimmung der *Form* der Verteilungskurve der α mit einer Fehlerkurve; aber nur 41% der α liegen zwischen $\pm$ 1, d. h. der wahrscheinliche Fehler der Verteilungskurve der α ist größer als 1,0. Sie finden den Wert 1,24 $\pm$ 0,06. Man muß hieraus schließen, daß die wirklichen wahrscheinlichen Fehler durchschnittlich um 25% größer sind, als die aus den Beobachtungen abgeleiteten. Der relativ kleine Wert 1,24 ist ein Beweis für die Genauigkeit, mit der die Parallaxenbestimmungen reduziert wurden.

Auf die gleiche Weise wurden die Parallaxen von YERKES mit denen von ALLEGHENY und Mc CORMICK verglichen. Den Vergrößerungsfaktor fanden die Verfasser für Allegh.-Yerkes zu 1,51, für Mc Corm.-Yerkes zu 1,32. Stets bleibt er viel kleiner, als der von NEWCOMB bei seiner Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit vermutete Wert 3.

[1]) Proc. Nat. Ac. of Sc. **10**, 129—132, Nr. 4.

Sternspektren und Atomtheorie. Unter den zahlreichen Arbeiten, die in den letzten Jahren, seit SAHAS Theorie, auf diesem Gebiet erschienen sind, enthält auch eine Arbeit von Miß PAYNE [1]) Ergebnisse, die die atomtheoretischen Erwartungen voll bestätigen. Vom neutralen Silicium, vom einfach, doppelt und dreifach ionisierten Silicium wurden die Intensitäten der Absorptionslinien in Sternspektren geschätzt, um auf diese Weise die empirische Einreihung der Sterne in die Spektralklassen zu prüfen. Beim neutralen Silicium und bei Si^+ wurde *eine* Linie, bei Si^{++} und Si^{+++} wurden *drei* Linien benutzt. Ein Vergleich der beobachteten Intensitätskurven der verschiedenen Linien mit den theoretischen Kurven, wie sie sich auf atomtheoretischer Basis aus den Untersuchungen von FOWLER und MILNE ergeben haben, zeigt eine sehr befriedigende Übereinstimmung. Die Linien von Si erreichen bei Go (5500°) ihre maximale Intensität, diejenigen von Si^+ bei Ao (13 000°), von Si^{++} bei B2 (20 000°) und endlich die von Si^{+++} in der Gegend von Oe5 bei Temperaturen von etwa 27 000°. Die angegebenen Temperaturen (die im wesentlichen mit Hilfe des Kossel-Sommerfeldschen Verschiebungsgesetzes gewonnen wurden, da die Serienbeziehungen im Si-Spektrum noch nicht genau bekannt sind) zeigen einen Unterschied gegenüber den Temperaturen von SAHA. Zum Vergleich seien hier die Temperaturen für einige Spektraltypen angeführt nach WILSING und SCHEINER, SAHA und Miß PAYNE (Einheit = 1000°):

Typus	Bo	B5	Ao	Fo	Go (Sonne)	Ma
WILSINA-SCHEINER	20	14	11	7,5	5	3,1
SAHA	18	14	12	9	7	5
Si-Linien	22	17	13	7,5	5,5	3

Die Intensitäten der Si-Linien führen also bei den frühen Typen auf höhere Temperaturen, bei den späten Typen auf niedrigere, als SAHA gefunden hat. Bei den späten Typen stimmen die neuen Werte besonders gut mit den alten Wilsing-Scheinerschen Werten überein.

P. TEN BRUGGENCATE.

[1]) Harvard Circular 252.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.